



TESIS - MO 142528

IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK DELTA DI SURABAYA

ZHELVYANIE

4114 205 007

DOSEN PEMBIMBING:

Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D

Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK DAN MANAJEMEN PANTAI
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS - MO 142528

IDENTIFICATIONS CHARACTERISTICS OF DELTA IN SURABAYA

ZHELVYANIE

4114 205 007

SUPERVISOR:

Suntoyo, ST, M.Eng, Ph.D

Dr. Ir. Wahyudi, M.Sc

**MASTER PROGRAM
COASTAL AND ENGINEERING MANAGEMENT
MARINE TECHNOLOGY STUDY PROGRAM
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

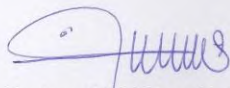
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Zhelvyanie
NRP. 4114 205 007

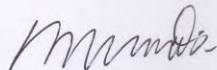
Tanggal Ujian : 22 Juli 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :



1. Suntoyo, ST, M. Eng, Ph. D
NIP. 19710723 199512 1 001

(Pembimbing)



2. Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc
NIP. 19601214 198903 1 001

(Pembimbing)

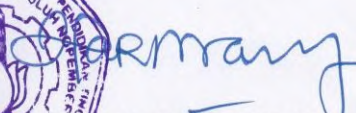


3. Dr. Kriyo Sambodho, ST, M. Eng
NIP. 19740127 199903 1 002

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

KARAKTERISTIK DELTA DI SURABAYA

Nama : Zhelvyanie
NRP : 4114 205 007
Jurusan : Teknik dan Manajemen Pantai - ITS
Dosen Pembimbing : Suntoyo, ST, M. Eng, Ph. D
Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc

ABSTRAK

Delta adalah bagian dari wilayah pesisir yang terjadi jika terdapat cukup sedimen yang tertangkap, baik berupa sedimen primer dari hulu sungai maupun sedimen sekunder yang dibawa oleh arus laut. Kegiatan masyarakat yang menempati dan menggunakan wilayah muara dan delta dapat mempengaruhi dinamika delta dan muara sungai secara langsung maupun tidak langsung. Wilayah bagian timur kota Surabaya adalah daerah estuari dimana terdapat 7 kali yang bermuara ke selat Madura. Salah satunya adalah Kali Wonokromo yang merupakan anak sungai Kali Mas yang berfungsi untuk membuang kelebihan sedimen dan air ke selat Madura.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran sedimen, faktor dominan yang mempengaruhi sebaran sedimen dan karakteristik delta di Surabaya. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data primer yaitu data sedimen, data bathimetri dan kecepatan arus. Data sekunder berupa data pasang surut, data gelombang dan angin serta data debit sungai. Hasil analisa sedimen menunjukkan bahwa perairan kali Wonokromo didominasi oleh lanau (lumpur) dengan ukuran butir sedimen ($D_{50} = 0,055 \text{ mm}$). Pengaruh debit air, pasang surut dan gelombang terhadap transportasi sedimen dan perubahan morfologi dianalisa dengan model numerik (Mike 21). Simulasi dilakukan untuk satu bulan yaitu pada bulan Agustus 2015 (debit sungai sangat kecil). Hasil simulasi menunjukkan bahwa transport sedimen dan perubahan morfologi pada perairan Kali Wonokromo dipengaruhi oleh energi gabungan pasang surut dan gelombang (*mixed energy*) dengan pasang surut sebagai faktor dominannya. Wilayah perairan Kali Wonokromo merupakan daerah estuari (*estuarine*) dengan tinggi gelombang rata-rata (*mean wave height*) sebesar 0,4 meter dan tunggang pasang surut sebesar 2,5 meter.

Sebagian besar wilayah kota Surabaya adalah delta sungai Brantas yaitu delta yang terbentuk akibat pecahan dua Sungai Brantas, yaitu Kali Mas dan Kali Porong. Sedimennya berasal dari letusan gunung berapi dan tersedimentasi di muara kali Brantas (*river delta*).

Kata kunci : Delta Sungai Brantas, Faktor dominan, Kali Wonokromo, Mike 21, Sebaran sedimen

IDENTIFICATIONS CHARACTERISTICS OF DELTA IN SURABAYA

Name : Zhelvyanie
NRP : 4114 205 007
Department : Coastal Engineering and Management- ITS
Dosen Pembimbing : Suntoyo, ST, M. Eng, Ph. D
Dr. Ir. Wahyudi, M. Sc

ABSTRACT

Delta is a part of the coastal area formed by primary sediments from upstream or secondary sediments carried by ocean currents. People activities using the estuary and delta area could affect their dynamics, directly or indirectly. The eastern region of Surabaya has estuary where there are 7 rivers flow into the Strait of Madura, such as Kali Wonokromo, a branch of Kali Mas which serves as disposal of excess sediment and water into the strait.

The objective of this study is to determine the sediment distribution, dominant factor of the distribution and characteristics of the delta in Surabaya. This study starts with collecting primary data, such as sediment data, bathymetry and current velocity data. The secondary data include tides, wind, wave and river discharge data. The sediment analysis show that the Kali Wonokromo is dominated by silt (mud) with sediment grain size ($D_{50} = 0,055$ mm). The effect of water discharge, tides and waves to the sediment transport and morphological changes were analyzed by numerical model (Mike 21). The simulations conducted for a month, in August 2015, when the river discharge was very small. The results show that sediment transport and morphological changes in the Kali Wonokromo influenced by tides and waves (mixed energy) where the tides is the dominant factor. Kali Wonokromo is an area of estuary (estuarine) with mean wave height about 0,4 meters and tidal range about 2,5 meters.

Most areas of Surabaya is the Brantas river delta formed by fragment of two river, Kali Mas and the Porong River. Its sediments was a results from volcanic eruptions and settled in Brantas river estuary (river delta).

Keywords: Brantas River Delta, Dominant Factor, Mike 21, Sediment Distribution, Wonokromo River

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xix |
| BAB 1 PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah | 3 |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | |
| 2.1 Kajian Pustaka | 5 |
| 2.2 Dasar Teori | 6 |
| 2.2.1 Pengertian dan Klasifikasi Delta | 6 |
| 2.2.2 Faktor Utama Pembentuk Delta | 9 |
| 2.2.2.1 Sungai dan Sedimen..... | 9 |
| 2.2.2.2 Gelombang dan Pasang surut..... | 13 |
| 2.2.2.3 Angin..... | 14 |
| 2.3 MIKE 21 | 16 |
| 2.3.1 Hydrodynamic Modul..... | 16 |
| 2.3.2 Mud transport (MT) modul | 17 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram alir penelitian | 21 |
| 3.2 Prosedur penelitian | 22 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1 Studi literatur dan Pengambilan Data | 22 |
| 3.2.2 Pengumpulan Data Sekunder..... | 23 |
| 3.2.3 Pengumpulan Data Primer | 23 |
| 3.3 Pengolahan Data..... | 25 |
| 3.3.1 Analisis Sedimen di Laboratorium | 25 |
| 3.3.1.1 Tes Analisa Ayakan (Sieve Analysis)..... | 25 |
| 3.3.1.2 Tes Hidrometer | 26 |
| 3.3.1.3 Tes Penentuan Specific Gravity | 27 |
| 3.3.2 Pengolahan Data Angin | 27 |
| 3.4 Pemodelan Numerik..... | 28 |
| 3.5 Proses Validasi | 29 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Lokasi Penelitian..... | 31 |
| 4.2 Analisa Data | 32 |
| 4.2.1 Data Hidro-oseanografi | 32 |
| 4.2.1.1 Angin..... | 32 |
| 4.2.1.2 Pasang Surut | 33 |
| 4.2.2 Data Sedimen..... | 34 |
| 4.3 Kondisi Batas Lingkungan dan Model..... | 35 |
| 4.3.1 Kondisi Batas..... | 35 |
| 4.3.2 Model..... | 36 |
| 4.4 Simulasi Model Hidrodinamik dan Validasi..... | 37 |
| 4.4.1 Validasi | 37 |
| 4.4.1.1 Arus..... | 37 |
| 4.4.1.2 Pasang Surut | 38 |
| 4.4.2 Analisa Pola Arus | 39 |
| 4.4.2.1 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Lengkap..... | 40 |
| 4.4.2.2 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Debit..... | 42 |
| 4.4.2.3 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Pasut..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.2.4 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Gelombang..... | 46 |
| 4.5 Hasil Pemodelan Sebaran Sedimen | 49 |
| 4.5.1 Analisa Pola Penyebaran Sedimen..... | 49 |
| 4.5.1.1 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Lengkap | 49 |
| 4.5.1.2 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Debit | 52 |
| 4.5.1.3 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Pasut | 54 |
| 4.5.1.4 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Gelombang | 57 |
| 4.5.2 Analisa Perubahan Morfologi Dasar Perairan..... | 59 |
| 4.5.1.1 Analisa Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Lengkap.... | 61 |
| 4.5.1.2 Analisa Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Debit | 67 |
| 4.5.1.3 Analisa Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Pasut | 73 |
| 4.5.1.4 Analisa Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Gelombang | 79 |
| 4.6 Delta Brantas di Surabaya | 88 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 93 |
| 5.2 Saran | 93 |
| DAFTAR PUSTAKA | 95 |
| LAMPIRAN..... | 97 |
| BIOGRAFI PENULIS | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Kalsifikasi delta menurut Galloway (1975)..... | 6 |
| Gambar 2.2 | Klasifikasi delta menurut sumber endapannya | 9 |
| Gambar 2.3 | 3 (tiga) Mekanisme transportasi sedimen rolling, saltation dan suspension..... | 10 |
| Gambar 2.4 | Diagram Hjulstrom yang menggambarkan hubungan antara ukuran butir dan kecepatan arus transportasi butir sedimen | 11 |
| Gambar 2.5 | Hubungan antara gelombang dan pasang surut berdasarkan klasifikasi Davies (1964) dan Hayes (1979)..... | 14 |
| Gambar 2.6 | Model lapis banyak (multi-layer model) dan proses fisiknya... | 17 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian | 21 |
| Gambar 3.2 | Diagram alir pemodelan..... | 22 |
| Gambar 3.3 | Lokasi Penelitian dan pengambilan sampel..... | 24 |
| Gambar 4.1 | Peta Aliran Sungai di Kota Surabaya, Jawa Timur..... | 31 |
| Gambar 4.2 | Diagram mawar angin 1 Agustus 2015 – 31 Agustus 2015.... | 32 |
| Gambar 4.3 | Grafik pasang surut selama periode 1 Agustus 2015 sampai dengan 31 Agustus 2015 | 33 |
| Gambar 4.4 | Peta jenis sedimen di daerah perairan muara Kali Wonokromo Surabaya..... | 35 |
| Gambar 4.5 | Kondisi batas untuk daerah studi | 36 |
| Gambar 4.6 | Tampilan batimetri pada mesh generator..... | 36 |
| Gambar 4.7 | Scatter diagram perbandingan kecepatan arus simulasi dan pengukuran pada tanggal 25 Agustus 2015 | 38 |
| Gambar 4.8 | Grafik perbandingan elevasi pasang surut hasil pengukuran dan simulasi | 39 |
| Gambar 4.9 | Hasil simulasi pada saat pasang tertinggi (time step 60) | 40 |
| Gambar 4.10 | Hasil simulasi pada saat surut terendah (time step 102)..... | 40 |
| Gambar 4.11 | Pola arus hasil simulasi lengkap saat pasang tertinggi | 41 |
| Gambar 4.12 | Pola arus hasil simulasi lengkap saat surut terendah | 42 |
| Gambar 4.13 | Pola arus hasil simulasi tanpa debit saat pasang tertinggi | 43 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.14 | Pola arus hasil simulasi tanpa debit saat surut terendah..... | 44 |
| Gambar 4.15 | Pola arus hasil simulasi tanpa pasut saat pasang tertinggi | 45 |
| Gambar 4.16 | Pola arus hasil simulasi tanpa pasut saat surut terendah | 46 |
| Gambar 4.17 | Pola arus hasil simulasi tanpa gelombang saat pasang tertinggi | 47 |
| Gambar 4.18 | Pola arus hasil simulasi tanpa gelombang saat surut terendah . | 48 |
| Gambar 4.19 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi lengkap saat pasang tertinggi | 50 |
| Gambar 4.20 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi lengkap saat surut terendah | 51 |
| Gambar 4.21 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa debit saat pasang tertinggi | 52 |
| Gambar 4.22 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa debit saat surut terendah | 53 |
| Gambar 4.23 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa pasut saat pasang tertinggi | 55 |
| Gambar 4.24 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa pasut saat surut terendah | 56 |
| Gambar 4.25 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa gelombang saat pasang tertinggi | 57 |
| Gambar 4.26 | Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa gelombang saat surut terendah | 58 |
| Gambar 4.27 | Hasil simulasi lengkap bed level time step 0..... | 61 |
| Gambar 4.28 | Hasil simulasi lengkap bed level time step 4320..... | 62 |
| Gambar 4.29 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1 | 62 |
| Gambar 4.30 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2 | 63 |
| Gambar 4.31 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3 | 64 |
| Gambar 4.32 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4 | 64 |
| Gambar 4.33 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1 | 65 |
| Gambar 4.34 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2 | 66 |
| Gambar 4.35 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3 | 66 |
| Gambar 4.36 | Hasil simulasi non debit bed level time step 0 | 67 |
| Gambar 4.37 | Hasil simulasi non debit bed level time step 4320 | 68 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.38 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1 | 68 |
| Gambar 4.39 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2 | 69 |
| Gambar 4.40 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3 | 70 |
| Gambar 4.41 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4 | 70 |
| Gambar 4.42 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1 | 71 |
| Gambar 4.43 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2 | 72 |
| Gambar 4.44 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3 | 72 |
| Gambar 4.45 | Hasil simulasi non pasut bed level time step 0 | 73 |
| Gambar 4.46 | Hasil simulasi non pasut bed level time step 4320 | 74 |
| Gambar 4.47 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1 | 74 |
| Gambar 4.48 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2 | 75 |
| Gambar 4.49 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3 | 76 |
| Gambar 4.50 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4 | 76 |
| Gambar 4.51 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1 | 77 |
| Gambar 4.52 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2 | 78 |
| Gambar 4.53 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3 | 78 |
| Gambar 4.54 | Hasil simulasi non wave bed level time step 0 | 79 |
| Gambar 4.55 | Hasil simulasi non wave bed level time step 4320 | 80 |
| Gambar 4.56 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1 | 80 |
| Gambar 4.57 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2 | 81 |
| Gambar 4.58 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3 | 82 |
| Gambar 4.59 | Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4 | 82 |
| Gambar 4.60 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1 | 83 |
| Gambar 4.61 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2 | 84 |
| Gambar 4.62 | Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3 | 84 |
| Gambar 4.63 | Grafik perubahan bathimetri sungai sebelum dan sesudah simulasi..... | 85 |
| Gambar 4.64 | Grafik perubahan bathimetri laut 1 sebelum dan sesudah simulasi..... | 86 |
| Gambar 4.65 | Grafik perubahan bathimetri laut 2 sebelum dan sesudah simulasi..... | 86 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.66 | Grafik perubahan bathimetri laut 3 sebelum dan sesudah simulasi | 87 |
| Gambar 4.67 | Aktifitas gunung berapi pembentuk delta sungai Brantas | 89 |
| Gambar 4.68 | Peta Surabaya pada abad ke-9 | 90 |
| Gambar 4.69 | Peta Surabaya tahun 1976 | 91 |
| Gambar 4.70 | Delta Brantas dibentuk oleh sungai Brantas, Kali Porong dan Kali Mas..... | 91 |
| Gambar 4.71 | Peta jenis tanah kota Surabaya | 92 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Tabel Klasifikasi Ukuran Partikel Sedimen | 12 |
| Tabel 2.2 | Tabel Kecepatan Angin untuk menghitung Gelombang.. | 15 |
| Tabel 3.1 | Jenis dan sumber data yang diperlukan | 23 |
| Tabel 3.2 | Koordinat lokasi pengambilan sampel sedimen | 24 |
| Tabel 4.1 | Perbandingan Fraksi dan Median Grain Size (D50) untuk sedimen muara Kali Wonokromo | 34 |
| Tabel 4.2 | Nilai RMSE dan Persentase Kesalahan | 38 |
| Tabel 4.3 | Perbandingan Pasang Surut Hasil Simulasi dan Pengukuran | 39 |
| Tabel 4.4 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Lengkap Saat Pasang Tertinggi..... | 41 |
| Tabel 4.5 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Lengkap Saat Surut Terendah | 42 |
| Tabel 4.6 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Debit Saat Pasang Tertinggi..... | 43 |
| Tabel 4.7 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Saat Surut Terendah..... | 44 |
| Tabel 4.8 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Pasang Tertinggi | 45 |
| Tabel 4.9 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Surut Terendah..... | 46 |
| Tabel 4.10 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Pasang Tertinggi..... | 47 |
| Tabel 4.11 | Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Surut Terendah..... | 48 |
| Tabel 4.12 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Lengkap Saat Pasang Tertinggi | 50 |
| Tabel 4.13 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Lengkap Saat Surut Terendah..... | 51 |
| Tabel 4.14 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Debit Saat Pasang Tertinggi | 53 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 4.15 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Debit Saat Surut Terendah | 54 |
| Tabel 4.16 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Pasang Tertinggi..... | 55 |
| Tabel 4.17 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Surut Terendah | 56 |
| Tabel 4.18 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Gelombang Saat Pasang Tertinggi..... | 58 |
| Tabel 4.19 | Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Gelombang Saat Surut Terendah | 59 |
| Tabel 4.20 | Koordinat Luasan Garis Analisa Pemodelan Bed Level Dalam Satuan UTM | 60 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|------------|--|-----|
| Lampiran 1 | Kejadian dan Persentase Kejadian Angin | 97 |
| Lampiran 2 | Hasil Analisa Sedimen | 98 |
| Lampiran 3 | Bathimetri Awal | 103 |
| Lampiran 4 | Luasan wilayah Sungai 1 sampai Laut 3 untuk menganalisa perubahan kedalaman | 106 |
| Lampiran 5 | Hasil Perhitungan Cut and Fill Surfer 12 | 108 |
| Lampiran 6 | Data Perubahan Bathimetri Luasan 1 sampai Luasan Sungai 4 . | 121 |
| Lampiran 7 | Data Perubahan Bathimetri Luasan Perairan 1 sampai Luasan Perairan 3 | 124 |
| Lampiran 8 | Data Pasang Surut | 126 |
| Lampiran 9 | Data Gelombang | 127 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Delta didefinisikan menurut Wright (1985) secara lebih luas, sebagai daerah akumulasi di wilayah pesisir baik yang subaqueous dan subaerial, materialnya berasal dari endapan sungai maupun endapan sekunder dari laut yang dibentuk oleh gelombang, arus, atau pasang surut (CERC, 2007). Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa delta terbentuk di muara sungai dan sangat tergantung pada jumlah material sedimen yang diendapkan di daerah tersebut dan proses hidrodinamika yang terjadi di daerah tersebut. Faktor lain yang mempengaruhi pembentukan dan tampilan delta adalah ukuran sedimen, kedalaman dan bentuk lingkungan atau cekungan pengendapannya (*sedimentary basin*), curah hujan yang mempengaruhi variasi debit air dan sedimen yang diangkutnya (Nichols, 2009).

Gambar dan peta memperlihatkan bahwa Surabaya adalah muara sungai dan terbentuk oleh gugusan kepulauan. Muara Sungai Kali Brantas dengan anaknya Kali Surabaya. Sedangkan Surabaya merupakan pulau-pulau kecil yang terjadi akibat lumpur yang hanyut dari letusan gunung berapi. Namun, lama-kelamaan terjadi pendangkalan di muara sungai yang terletak di Selat Madura ini. Gugusan pulau-pulau ini kemudian perlahan-lahan menyatu menjadi daerah rawa dan menjadi pelabuhan pada muara sungai Brantas dan perkampungan di tepi sungai Kalimas (Von Faber, 1953). Surabaya adalah kota tua yang perkampungan pertamanya berada di tepi sungai Kali Mas yang merupakan bagian dari delta Sungai Brantas (Purwono, 2010). Delta Sungai Brantas adalah sebuah delta akibat pecahan dua Sungai Brantas, yaitu Kali Mas dan Kali Porong (Satyana, 2011), pecahan dua sungai ini menyebabkan terbentuknya sebuah delta yang sangat luas. Delta sungai brantas ini komposisi deltanya adalah lempung, lanau, dan pasir yang sudah terbentuk sejak berabad-abad yang lalu. Di sekitar wilayah Mojokerto, sungai Brantas yang mengalir dari barat ke timur bercabang menjadi dua, yaitu cabang sungai ke arah timur laut bernama kali Mas dan bermuara di Tanjung

Perak dan cabang sungai ke arah timur tenggara bernama kali Porong dan bermuara di utara Bangil di Selat Madura.

Pada jaman Belanda, untuk membebaskan kota Surabaya dari banjir, dibangunlah pematusan yaitu pembuatan *boezem* oleh kantor *assainering* untuk melepaskan air yang berlebihan ke laut pada waktu musim hujan dan dapat menampung air pada waktu musim kemarau. Pembuatan dan pelebaran saluran Wonokromo dan pembangunan pintu air besar di Wonokromo selesai pada tahun 1920 (Santoso dkk., 2002). Perluasan dasar sungai Wonokromo juga dilakukan guna memungkinkan pelayaran perahu setelah air surut.

Sebagai kota terbesar ke dua di Indonesia setelah kota Jakarta dengan luas sekitar 333,063 km² dan jumlah penduduknya sekitar 2.885.385 jiwa (BPS, 2015). Surabaya juga merupakan pusat bisnis, perdagangan, industri, serta pendidikan di Jawa Timur dan kawasan Indonesia bagian timur membuat kota ini tidak lepas dari kegiatan yang juga merusak lingkungan. Kegiatan masyarakat yang menempati dan menggunakan wilayah badan sungai serta pengubahan pemanfaatan lahan wilayah secara langsung maupun tidak langsung seperti pengerukan, penambangan pasir, pembuangan material, reklamasi, pembuatan waduk, tambak dan lainnya mempengaruhi dinamika muara sungai dan delta.

Dibagian wilayah pesisir kota Surabaya yang dikenal dengan sebutan Pantai Timur Surabaya (Pamurbaya) dengan luas 958,88 ha, merupakan tempat bermuaranya 7 kali diantaranya adalah Kali Kepiting, Kali Dami, Kali Bokor, Kali Wonokromo, Kali Wonorejo, Kali Kebonagung dan Kali Perbatasan. 7 kali ini bermuara ke selat Madura (Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya, 2013).

Kali Wonokromo yang adalah bagian dari delta Sungai Brantas (*Brantas river basin*), karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui sebaran sedimen, faktor dominan yang mempengaruhi sebaran sedimen dan karakteristik delta di Surabaya.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan judul “Identifikasi Karakteristik Delta di Surabaya”.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang terdapat dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pola sebaran sedimen di daerah perairan delta Surabaya ?
2. Apakah faktor dominan yang mempengaruhi sebaran sedimen di perairan delta Surabaya ?
3. Bagaimanakah karakteristik delta di Surabaya ?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pola sebaran sedimen di daerah perairan delta Surabaya
2. Faktor dominan yang mempengaruhi sebaran sedimen di perairan delta Surabaya
3. Mengetahui karakteristik delta di Surabaya

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait pola penyebaran sedimen, faktor dominan yang mempengaruhi sebaran sedimen dan karakteristik delta di Surabaya. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan kawasan perairan delta di Surabaya khususnya muara Kali Wonokromo, Wonorejo Estuari.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian yang dilakukan maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Daerah pengambilan data dan penelitian adalah daerah perairan Kali Wonokromo
2. Pemodelan menggunakan software Mike 21

3. Data pasang surut, data angin dan gelombang serta debit sungai yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder.
4. Simulasi dilakukan pada bulan Agustus 2015 pada saat musim timur (musim kemarau).
5. Analisa menggunakan lapisan tanah dengan material lumpur (*silt*) dan hanya menggunakan satu layer dasar.
6. Pola sebaran sedimen, faktor dominan sebaran sedimen di daerah perairan muara Kali Wonokromo dan identifikasi karakteristik delta di Surabaya yang merupakan bagian dari delta sungai Brantas (*Brantas river delta*) berdasarkan peta historis dan sumber sedimen atau pengendapannya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Berdasarkan penelitian Mikhailov dan Mikhailova (2010) tentang proses pembentukan delta di Muara Sungai Mississippi yang dipengaruhi oleh aliran sungai (*river water*), runoff sedimen (*sediment runoff*), naik turunnya permukaan air laut (*sea level variation*), gelombang laut (*sea waves*), pasang surut (*tides*) dan badai (*hurricanes*) dimana terjadi perubahan terhadap proses pembentukan delta secara global, regional, alami dan faktor campur tangan manusia.

Penelitian tentang proses pantai dan sebaran sedimen di delta sungai Zohreh pernah dilakukan oleh Gahribreza dkk., (2014). Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa pengaruh fluvial dan pasang surut memiliki peranan penting dalam transportasi dan redistribusi sedimen di lingkungan delta juga terjadi di delta sungai Zohreh, tepatnya di bagian utara teluk Persia. Daerah delta sungai Zohreh memiliki tipe pasang surut mesotidal dengan tunggang pasang surut (*tidal range*) sebesar 2 m. Sebaran sedimen di delta sungai Zohreh adalah lanau (*silt*), lumpur (*mud*) dan lanau berpasir (*sandy silt*) berdasarkan pengambilan sampel sedimen dengan menggunakan *Van Vee grab sampler* dan alat bor.

Penelitian tentang perbedaan sebaran sedimen permukaan akibat variasi musim telah dilakukan oleh Choi (2014) di daerah flat pasang surut Korea. Sebaran sedimen permukaan menjadi lebih berpasir saat musim dingin dan menjadi lebih berlumpur di sepanjang sisa tahun.

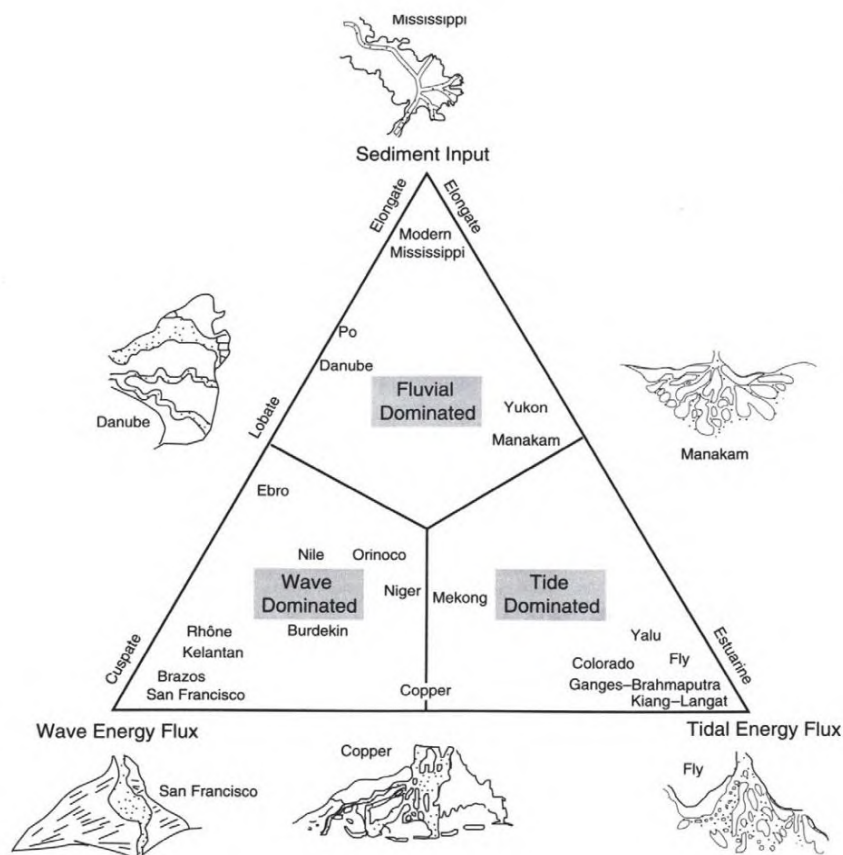
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian dan Klasifikasi Delta

Muara sungai merupakan bagian dari estuari dan keduanya merupakan bagian dari delta. Wright (1985) mendefinisikan delta secara lebih luas sebagai daerah akumulasi di wilayah pesisir baik yang *subaqueous* dan *subaerial*, materialnya berasal dari endapan sungai maupun endapan sekunder dari laut yang dibentuk oleh gelombang, arus, atau pasang surut (CERC, 2007).

Galloway (1975) mengklasifikasikan delta berdasarkan penerapannya terhadap aluvial delta (dominasi energi) yaitu :

1. Delta yang didominasi oleh sungai (*fluvial-dominated delta*)
2. Delta yang didominasi oleh pasang-surut (*tide-dominated delta*)
3. Delta yang didominasi oleh gelombang (*wave-dominated delta*)



Gambar 2.1 Klasifikasi delta menurut Galloway (1975)
(Sumber : Bhattacharya, 2006)

Bentukan delta yang didominasi oleh sungai disebut *elongate* atau kaki burung “*birdfoot*” dapat ditemukan pada delta sungai Mississippi, Louisiana, Amerika Serikat yang memiliki tinggi gelombang rata-rata tidak lebih dari 0,5 meter dan tinggi rata-rata pasang surut 0,43 meter (*microtidal*). Rata-rata debit air maksimum per bulan adalah 52.000 – 55.000 m³/s pada bulan Februari, April dan Mei dan rata-rata debit air minimum per bulan sebesar 2.900 m³/s terjadi pada bulan Oktober. Pengaruh manusia terhadap pengurangan sedimen dari 400.000.000 ton/tahun menjadi 217.000.000 ton/tahun akibat pembangunan bendungan, kanal, dan tanggul (Mikhailov dan Mikhailova, 2010).

Delta sungai Mahakam yang berada di pesisir timur Kalimantan dimana distribusi sedimen dipengaruhi oleh pasang surut dan arus pasang surut dari selat Makassar. Kategori pasang surutnya adalah semidiurnal dengan tinggi rata-rata pasang surutnya adalah 1,2 meter. Pengaruh gelombang terhadap delta sangat rendah. Kecepatan angin rendah dan *fetch* yang pendek menghasilkan tinggi gelombang signifikan kurang dari 0,6 meter. Debit air rata-rata 1800-2800 m³/s. Arus pasang surut memegang peranan penting untuk transportasi suspended sedimen dan morfologi deltanya (Mandang dan Yanagi, 2008).

Delta sungai Fly yang terletak di teluk Papua dan Selat Torres, bagian barat Papua Nugini merupakan sungai terpanjang kedua setelah sungai Sepik di Papua Nugini. Aktivitas penambangan di bagian hulu sungai baik Ok Tedi yang dimulai sejak tahun 1985 dan Strickland yang dimulai pada tahun 1991 diperkirakan menyebabkan penambahan 40 persen aliran sedimen. Sungai Fly memiliki 3 kanal yaitu ke bagian utara, jauh ke utara, dan selatan. Kanal-kanal ini memiliki kedalaman 5-15 meter dengan banyaknya pulau memanjang (*elongate*) berlumpur dan berpasir serta vegetasi mangrove. Karakteristik pasang surutnya semidiurnal dengan fluktuasi pasang surut di muara 4-5 meter saat pasang dan 1 meter saat surut. Energi gelombang paling tinggi di teluk Papua selalu terjadi diantara bulan Mei dan Oktober ketika angin Muson bertiup, tetapi gelombang signifikannya tidak lebih dari 1,3 meter. Debit sedimen pada delta sungai Fly sebesar 85×10^3 ton/tahun (Canestrelli dkk., 2010).

Delta sungai Copper yang terletak di teluk Alaska merupakan delta yang dipengaruhi energi campuran gelombang dan pasang surut, tetapi didominasi oleh

pasang surut (*mixed energy, tide dominated*). Delta sungai Copper memiliki tunggang pasang surut sebesar 3-4 meter dan tinggi gelombang rata-rata 1,2 – 1,4 meter (Davis, 1994). Debit terendah sungai Copper adalah 40 m³/s saat musim dingin dan meningkat menjadi 7000 m³/s saat es mencair di musim panas (Galloway, 1976).

Delta sungai Danube yang terletak di Negara Rumania memiliki perairan semidiurnal dengan tunggang pasang surutnya 0,07 - 0,012 meter dengan kecepatan angin pada bagian barat laut Laut Hitam berada pada kisaran pada 5 dan 6,5 m/s. Ukuran sedimen butir rata-rata pada delta sungai Danube yaitu pasir sedang (medium fine sand) dengan $0,1 \text{ mm} < D_{50} < 0,5 \text{ mm}$. Debit air sebesar 85.000 m³/s dan debit sedimen 67×10^6 ton/tahun. Dengan luas area deltanya adalah $8,99 \times 10^5 \text{ km}^2$ (Giosan dkk., 1998).

Sao Francisco merupakan sungai terpanjang kedua di Brasil memiliki wilayah delta seluas 40.000 km² dengan rata-rata debit sedimen 6×10^6 ton/tahun dan debit air sebesar 28.000 m³/s. Kekuatan gelombang rata-rata adalah $30,4 \times 10^7$ ergs/sec dibandingkan dengan $0,034 \times 10^7$ ergs/sec pada delta sungai Mississippi, ini berarti bahwa energi gelombang dikeluarkan dalam 10 jam pada pantai São Francisco melebihi dari energi gelombang Mississippi dalam satu tahun. Pasang surut delta Sao Francisco bersifat semidiurnal dengan tunggang pasang surut sebesar 2,5 meter (Seybold, 2009).

Nemec (1990) mengklasifikasikan delta berdasarkan sumber endapannya, yaitu (Boggs, 2006) :

1. Non Alluvial Delta

- a. Pyroklastik delta
- b. Lava delta

2. Alluvial Delta

- a. River delta

Pembentukannya dari deposit sungai tunggal.

- b. Braidplain delta

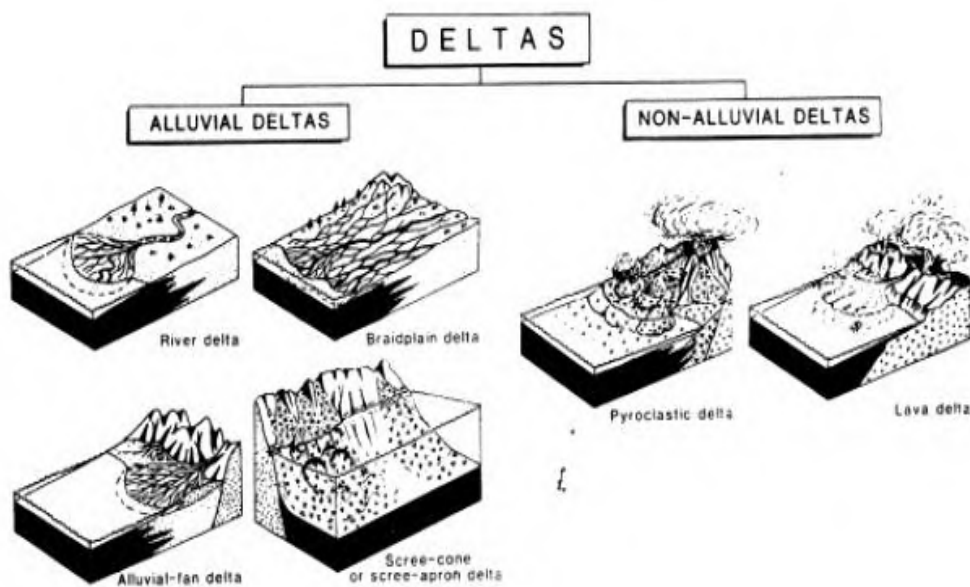
Pembentukannya dari sistem deposit aliran “teranyam”

c. Alluvial fan delta

Pembentukannya pada lereng yang curam dikaki gunung yang luas dibawa air

d. Scree-apron delta

Terbentuk ketika endapan scree memasuki air



Gambar 2.2 Klasifikasi delta menurut sumber endapannya
(Sumber : Boggs, 2006)

2.2.2 Faktor Utama Pembentuk Delta

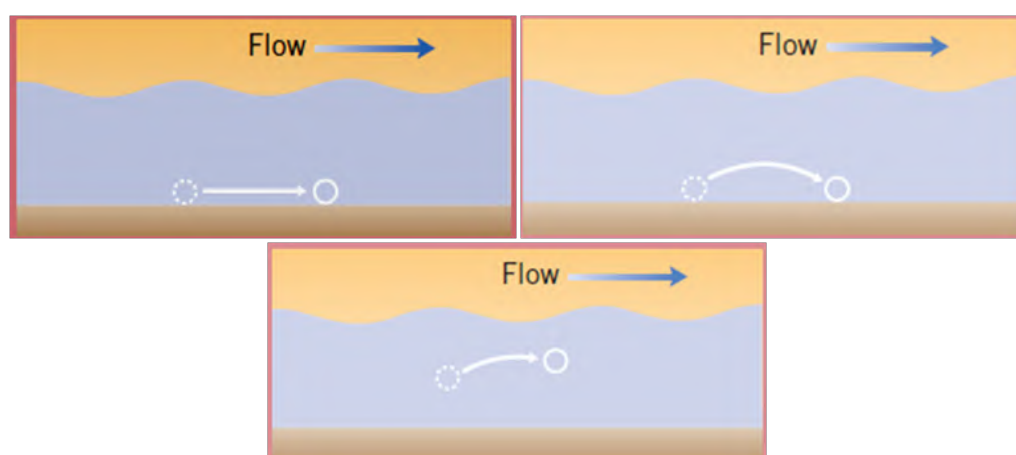
2.2.2.1 Sungai dan Sedimen

Salah satu hasil proses geomorfik yang bekerja pada muara sungai adalah delta. Oleh karena proses geomorfik di wilayah pesisir, dimana muara sungai berada, sangat dinamis maka delta yang terbentuk akan selalu mengalami perubahan dan perkembangan. Faktor yang paling penting terjadinya perkembangan delta adalah pemasokan material dan aktivitas pada wilayah pengendapan. Pengaruh debit dan sedimen dari sungai sangat besar terhadap pembentukan delta. Debit aliran sungai yakni jumlah massa air yang diangkut sungai per satuan waktu, berubah-ubah sesuai dengan sediaan dan masukan air yang ada. Masukan air yang utama berasal dari curah hujan dan mata air. Debit air

sangat dipengaruhi oleh curah hujan di daerah hulu, macam litologi yang dilewatinya dan luas daerah aliran sungainya (DAS).

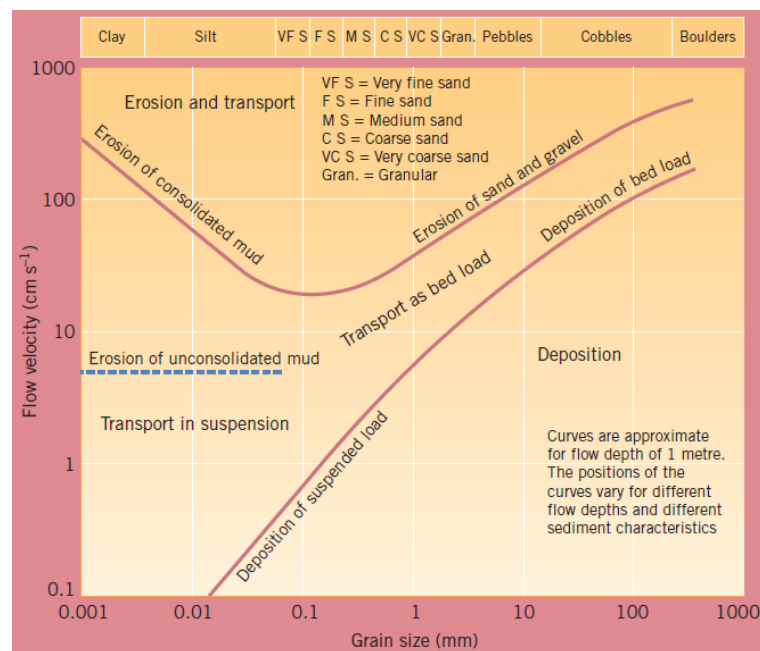
Sebaran sedimen delta dapat dibedakan berdasarkan faktor energi yang dominan antara gelombang, debit sungai dan pasang surut. Karakteristik ukuran butir sedimen juga dapat menunjukkan salah satu faktor dominan pembentukan delta (Nichols, 2009) selain faktor lainnya, contohnya dapat dilihat pada delta sungai Mississippi di USA yang didominasi oleh sungai dimana sedimennya berupa partikel yang lebih halus (*fine-grained*), delta sungai Rhone di Swiss dan Prancis yang didominasi oleh gelombang dan sedimennya merupakan campuran pasir dan lumpur serta Skeidarasundur di Irlandia yang dipengaruhi oleh sungai serta gelombang dan sedimennya berupa lempung selain itu proses transportasi dan sedimentasi sedimen juga mempengaruhi tampakan delta (*delta facies*).

Mekanisme transport sedimen yaitu menggelinding (*rolling*), *saltation* dan suspension. Butiran sedimen di air dapat mengalami transportasi sedimen melalui salah satu dari proses tersebut. Proses transportasi sedimen secara *rolling* dan *saltation* merupakan sedimen dasar (*bed load*) sedangkan untuk proses suspension menjadi sedimen layang (*suspended load*). Transportasi sedimen baik sedimen dasar maupun sedimen layang bergantung pada ukuran sedimen dan kecepatan aliran arus (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 3 (tiga) Mekanisme transportasi sedimen *rolling*, *saltation* dan *suspension* (Holden, 2005)

Sedimen berbutir halus (*fine grained*) hanya akan terakumulasi di bawah kondisi air yang sangat tenang dan sedimen membutuhkan lebih banyak energi untuk bergerak daripada sedimen berbutir kasar. Setelah mengendap sedimen berbutir halus tidak mudah terkikis (*eroded*) dan berpindah (*retransported*). Hubungan antara ukuran butir sedimen dan kecepatan arus transportasi sedimen digambarkan secara pada diagram Hjulström Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Hjulström yang menggambarkan hubungan antara ukuran butir dan kecepatan arus transportasi butir sedimen. Sumber: after Press dan Siever, 1986 (Holden,2005)

Di daerah pantai, sungai, dan muara tidak akan pernah lepas dengan yang namanya sedimentasi. Terlebih lagi sering menjadi persoalan yang penting, apalagi di daerah sekitar terdapat aktifitas manusia. Sedimentasi adalah proses pengendapan sedimen yang disebabkan oleh air, angin atau es. Sedimentasi adalah proses yang dinamis. Jika terdapat suplai muatan sedimen yang tinggi di lingkungan pantai, sehingga terjadi pendangkalan di pantai (Holden, 2005)

Tabel 2.1 Tabel Klasifikasi Ukuran Partikel Sedimen
(Sumber : ASTM, 1994, Volume 4.08)

| Table III-1-2 Sediment Particle Sizes | | | | |
|--|------------------------------|------------|----------|---------------------------------------|
| ASTM (Unified) Classification ¹ | U.S. Std. Sieve ² | Size in mm | Phi Size | Wentworth Classification ³ |
| Boulder | | 4096. | -12.0 | |
| | | 1024. | -10.0 | Boulder |
| | 12 in. (300 mm) | 256. | -8.0 | |
| Cobble | | 128. | -7.0 | Large Cobble |
| | | 107.64 | -6.75 | |
| | | 90.51 | -6.5 | Small Cobble |
| | 3 in. (75 mm) | 76.11 | -6.25 | |
| | | 64.00 | -6.0 | |
| | | 53.82 | -5.75 | |
| | | 45.26 | -5.5 | Very Large Pebble |
| Coarse Gravel | | 38.05 | -5.25 | |
| | | 32.00 | -5.0 | |
| | | 26.91 | -4.75 | |
| | | 22.63 | -4.5 | Large Pebble |
| | 3/4 in. (19 mm) | 19.03 | -4.25 | |
| | | 16.00 | -4.0 | |
| | | 13.45 | -3.75 | |
| | | 11.31 | -3.5 | Medium Pebble |
| | | 9.51 | -3.25 | |
| Fine Gravel | 2.5 | 8.00 | -3.0 | |
| | 3 | 6.73 | -2.75 | |
| | 3.5 | 5.66 | -2.5 | Small Pebble |
| | 4 (4.75 mm) | 4.76 | -2.25 | |
| | 5 | 4.00 | -2.0 | |
| Coarse Sand | 6 | 3.36 | -1.75 | |
| | 7 | 2.83 | -1.5 | Granule |
| | 8 | 2.38 | -1.25 | |
| | 10 (2.0 mm) | 2.00 | -1.0 | |
| | | 1.68 | -0.75 | |
| | | 1.41 | -0.5 | Very Coarse Sand |
| | | 1.19 | -0.25 | |
| Medium Sand | 18 | 1.00 | 0.0 | |
| | 20 | 0.84 | 0.25 | |
| | 25 | 0.71 | 0.5 | Coarse Sand |
| | 30 | 0.59 | 0.75 | |
| | 35 | 0.50 | 1.0 | |
| | 40 (0.425 mm) | 0.420 | 1.25 | |
| | 45 | 0.354 | 1.5 | Medium Sand |
| | 50 | 0.297 | 1.75 | |
| | 60 | 0.250 | 2.0 | |
| Fine Sand | 70 | 0.210 | 2.25 | |
| | 80 | 0.177 | 2.5 | Fine Sand |
| | 100 | 0.149 | 2.75 | |
| | 120 | 0.125 | 3.0 | |
| | 140 | 0.105 | 3.25 | |
| | 170 | 0.088 | 3.5 | Very Fine Sand |
| | 200 (0.075 mm) | 0.074 | 3.75 | |
| Fine-grained Soil: | 230 | 0.0625 | 4.0 | |
| | 270 | 0.0526 | 4.25 | |
| Clay if $PI \geq 4$ and plot of PI vs. LL is on or above "A" line and the presence of organic matter does not influence LL . | 325 | 0.0442 | 4.5 | Coarse Silt |
| | 400 | 0.0372 | 4.75 | |
| | | 0.0312 | 5.0 | |
| | | 0.0156 | 6.0 | Medium Silt |
| | | 0.0078 | 7.0 | Fine Silt |
| | | 0.0039 | 8.0 | Very Fine Silt |
| Silt if $PI < 4$ and plot of PI vs. LL is below "A" line and the presence of organic matter does not influence LL . | | 0.00195 | 9.0 | Coarse Clay |
| | | 0.00098 | 10.0 | Medium Clay |
| | | 0.00049 | 11.0 | Fine Clay |
| | | 0.00024 | 12.0 | |
| (PI = plasticity limit; LL = liquid limit) | | 0.00012 | 13.0 | Colloids |
| | | 0.000061 | 14.0 | |

¹ ASTM Standard D 2487-92. This is the ASTM version of the Unified Soil Classification System. Both systems are similar (from ASTM (1994)).

² Note that British Standard, French, and German DIN mesh sizes and classifications are different.

³ Wentworth sizes (in mm) cited in Krumbein and Sloss (1963).

2.2.2.2 Gelombang dan Pasang Surut

Pasang surut disebabkan oleh gaya gravitasi dari Bulan dan sedikit pengaruh dari Matahari. Gaya tarik menarik antara Matahari, Bulan dan Bumi selalu menyebabkan gerakan relatif, termasuk air laut yang kemudian disebut gerakan pasang surut (CERC, 1984). Ketinggian rentang pasang surut (*tidal range*) sangat berpengaruh terhadap proses dinamika pesisir karena menentukan letak garis kesamaan rentang pasang surut dan garis kesamaan pasangannya yang menjadi penggerak massa air pasang surut. Gerakan massa air ini dapat mempengaruhi sistem penyebaran dan dinamika sedimen Perairan pesisir maupun bentuk delta.

Teori pasang surut modern pertama diberikan oleh Newton (Dean dan Dalrymple, 2004), berdasarkan hukum gravitasi sesuai persamaan :

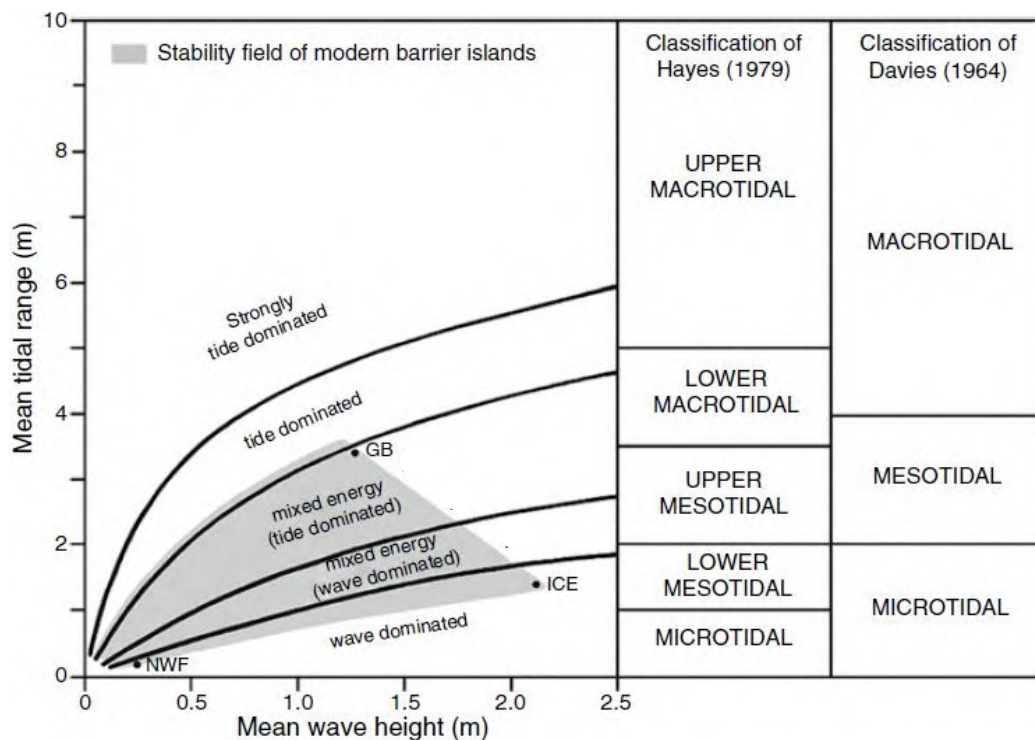
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dengan :

r : jarak antara titik pusat dari massa m_1 dan m_2

G : konstanta gravitasi ($6,6 \times 10^{-11} \text{ N/kg}^2$)

Hayes (1979) mengusulkan klasifikasi pasang surut dalam lima subdivisi yaitu (<1 m: microtidal; 1-2 m: lower mesotidal; 2-3,5 m: upper mesotidal; 3,5-5,0 m: lower macrotidal; >5.0 m: upper macrotidal). Hal ini merupakan penyempurnaan dari klasifikasi yang umum digunakan yaitu klasifikasi menurut Davies (1964) yang hanya membedakan tiga kategori (<2 m: microtidal; 2-4 m: mesotidal; > 4 m: macrotidal). Hubungan antara tinggi gelombang rata-rata (*mean wave height*) dan tunggang pasang surut rata-rata (*mean tidal range*) dijelaskan oleh Davies dan Hayes pada Gambar 2.5. Sebagai contoh pesisir teluk barat laut Florida (NWF), dimana perairannya memiliki karakteristik gelombang dan pasang surut yang rendah (*low wave/low tidal*), German Bright (GB) yang memiliki karakteristik perairan bergelombang sedang (*intermediate wave*) dan pasang surutnya tinggi (*high tidal*) serta pantai penghalang bagian tenggara Islandia (ICE) yang perairannya bergelombang tinggi (*high wave*) dengan pasang surut sedang (*intermediate tidal*) (Davis, 2012).



Gambar 2.5 Hubungan antara gelombang dan pasang surut berdasarkan klasifikasi Davies (1964) dan Hayes (1979) (Davis, 2012)

2.2.2.3 Angin

Angin termasuk tenaga yang secara tidak langsung mempengaruhi bentukan delta, angin juga merupakan tenaga yang membangkitkan gelombang laut. Kedalaman laut, durasi angin dan panjang *fetch* menentukan gelombang yang terbentuk (Kamphuis, 2000). Kecepatan angin dapat digunakan untuk menghitung gelombang (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Tabel Kecepatan Angin untuk menghitung Gelombang (Kamphuis, 2000)

| Beaufort | Wind | Deskripsi | Deskripsi Laut | Approx | Approx |
|----------|---------|-----------------|--|--------|---------|
| Wind | Speed | Angin | | Hs (m) | T (sec) |
| Force | (knots) | | | | |
| 0 | 0-1 | Calm | Permukaan laut seperti cermin | 0 | 1 |
| 1 | 1-3 | Light airs | Ripples terbentuk | 0,025 | 2 |
| 2 | 4-6 | Light breeze | Small wavelets. Masih pendek tapi lebih jelas | 0,1 | 3 |
| | | | puncak kelihatan seperti kaca, tapi tidak pecah | | |
| 3 | 7-10 | Gentle breeze | Large wavelets. Puncak mulai pecah | 0,4 | 4 |
| 4 | 11-17 | Moderate Breeze | Small waves, menjadi lebih besar | 1 | 5 |
| 5 | 17-21 | Fresh breeze | Moderate waves, lebih menyerupai bentuk panjang | 2 | 6 |
| 6 | 22-27 | Strong breeze | Large waves mulai terbentuk. Puncak berupa buih | 4 | 8 |
| | | | putih lebih luas sebarannya | | |
| 7 | 26-33 | Moderate gale | Permukaan laut menumpuk dan buih putih dari gelombang pecah mulai turun untuk bertiup sepanjang arah angin (spindrift) | 7 | 10 |
| 8 | 34-40 | Fresh gale | Moderately tinggi gelombang lebih besar dari panjang gelombang secara moderat. Tepi dari puncak pecah pada spindrift. Buih bertiup dengan baik dalam lapisan sepanjang arah angin. Spray mempengaruhi jarak penglihatan | 11 | 13 |
| 9 | 41-47 | Strong gale | High Waves. Tebal lapisan buih sepanjang arah angin | 18 | 16 |
| | | | Jarak penglihatan terpengaruh | | |
| 10 | 48-55 | Whole gale | Gelombang sangat tinggi dengan puncak yang panjang. Menghasilkan buih dalam potongan besar dan bertiup lintasan putih sepanjang arah angin. Secara keseluruhan permukaan laut menjadi kelihatan putih. Laut yang berombak besar menjadi berat dan shocklike. Jarak penglihatan terpengaruh | 25 | 18 |
| 11 | 56-63 | Strom | Tinggi gelombang sangat luar biasa. Permukaan laut ditutupi potongan putih memanjang menyerupai buih sepanjang arah angin. Jarak penglihatan terpengaruh | 35 | 20 |
| 12 | 64-71 | Hurricane | Udara diisi dengan buih dan spray. Permukaan laut dilengkapi warna putih dengan gerakan buih; jarak penglihatan sangat terpengaruh | 40 | 22 |
| 9 | 41-47 | Strong gale | High Waves. Tebal lapisan buih sepanjang arah angin | 18 | 16 |
| | | | Jarak penglihatan terpengaruh | | |
| 10 | 48-55 | Whole gale | Gelombang sangat tinggi dengan puncak yang panjang. Menghasilkan buih dalam potongan besar dan bertiup lintasan putih sepanjang arah angin. Secara keseluruhan permukaan laut menjadi kelihatan putih. Laut yang berombak besar menjadi berat dan shocklike. Jarak penglihatan terpengaruh | 25 | 18 |
| 11 | 56-63 | Strom | Tinggi gelombang sangat luar biasa. Permukaan laut ditutupi potongan putih memanjang menyerupai buih sepanjang arah angin. Jarak penglihatan terpengaruh | 35 | 20 |
| 12 | 64-71 | Hurricane | Udara diisi dengan buih dan spray. Permukaan laut dilengkapi warna putih dengan gerakan buih; jarak penglihatan sangat terpengaruh | 40 | 22 |

Fully develop sea – tidak dibatasi fetch dan durasi

1 knot \cong 1,8 km/hr \cong 0,5 m/s

Diperlukan durasi dan *fetch* jarang mencapai *membangkitkan fully develop sea*

Fakta hanya 30-40 m kedalaman yang menghubungkan laut dan udara

2.3 Mike 21

Mike 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa professional yang berisi sistem permodelan yang komprehensif untuk program computer untuk *2D free-surface flows*. Mike 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena di sungai, danau, estuary, teluk, pantai dan laut. Program ini dikembangkan oleh DHI Water and Environment. Mike 21 terdiri dari beberapa modul diantaranya :

2.3.1 Hydrodynamic (HD) Module

Hydrodynamic Module memerlukan *Boundary Conditions* (kondisi batas). Secara umum data yang diperlukan dalam *Hydrodynamic Module (HD)* adalah :

- 1) Data Bathimetri (elevasi)
- 2) Data pasang surut
- 3) Zona UTM
- 4) Kecepatan dan arah angin

Model hidrodinamik dalam Mike 21 HD adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Model ini mensimulasikan aliran dua dimensi dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen). Berikut ini adalah persamaan umum antara konservasi massa dan momentum yang menggambarkan aliran dan perbedaan muka air :

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta p}{\delta x} + \frac{\delta q}{\delta y} = \frac{\delta d}{\delta t} \quad (2.2)$$

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\delta \zeta}{\delta x} \quad (2.3)$$

$$\frac{\delta \zeta}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\delta \zeta}{\delta y} \quad (2.4)$$

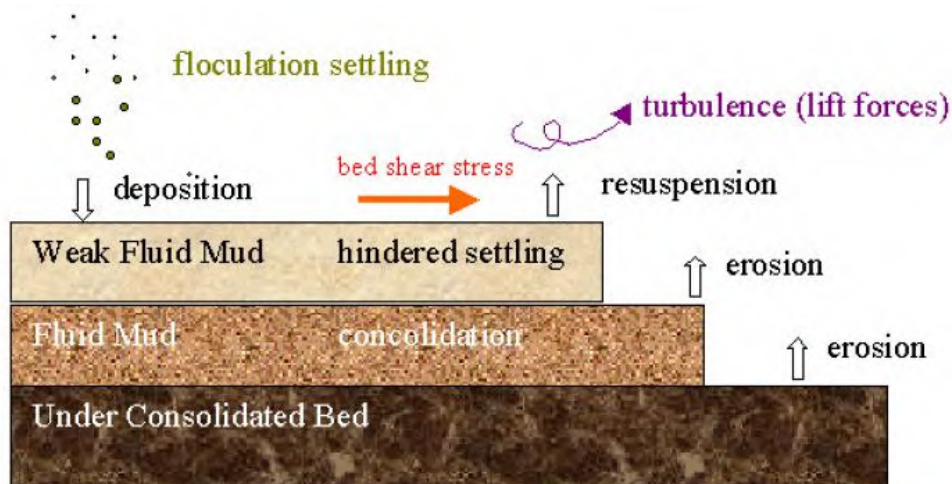
dimana :

- $h(x,y,t)$ = kedalaman perairan ($= \xi - d, m$)
 $d(x,y,t)$ = kedalaman perairan yang bervariasi terhadap waktu (m)
 $\xi(x,y,t)$ = ketinggian permukaan (m)
 $p,q(x,y,t)$ = berat jenis flux dalam arah x- dan y- ($m^3/s/m$)

| | |
|-----|------------------------------------|
| g | = percepatan gravitasi (m^2/s) |
| x | = koordinat jarak sumbu x (m) |
| y | = koordinat jarak sumbu y (m) |
| t | = waktu (s) |

2.3.2 Mud Transport (MT) Module

Modul ini digunakan untuk menghitung transportasi sedimen kohesif (lumpur). Lumpur adalah istilah umum yang digunakan untuk sedimen berbutir halus (kohesif) dengan ukuran butir kurang dari 63 mikron. Lumpur biasanya ditemukan di daerah yang terlindungi dari gelombang dan arus yang kuat. Contohnya adalah muara, laguna dan teluk. Sumber dari Sedimen dari aktifitas marine dan fluvial (DHI, 2007).



Gambar 2.6 Model lapis banyak (multi –layer model) dan proses fisiknya (DHI, 2007)

Gambar 2.6 menggambarkan fenomena fisik pada pergerakan sedimen kohesif seperti *flocculation*, *settling*, deposisi, konsolidasi dan re-suspensi oleh arus dan gelombang, likuifaksi oleh gelombang dan sliding. Transportasi sedimen adalah gerakan sedimen yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Formulasi transportasi sedimen dibangun dari persamaan adveksi-dispersi sebagai berikut :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S \quad (2.5)$$

dimana :

\bar{c} = konsentrasi massa rata-rata kedalaman (kg/m³)

u,v = kecepatan aliran rata-rata kedalaman (m/s)

Dx, Dy = koefisien dispersi (m²/s)

h = kedalaman (m)

S = akresi/erosi (kg/m³/s)

Q_L = Debit sumber aliran per unit area horizontal (m³/s/m²)

C_L = Konsentrasi sumber aliran (kg/m³)

Tegangan geser dasar yang dipengaruhi oleh arus dan gelombang dihitung dengan menggunakan formula :

$$\tau_c = 1 / 2 \rho f_w (U_b^2 + U_\delta^2 + 2 U_b U_\delta \cos \beta) \quad (2.6)$$

dimana :

τ_c = tegangan geser dasar (N/m²)

ρ = berat jenis air (kg/m³)

U_b = kecepatan orbit gelombang rata-rata horizontal di dasar (m/s)

U_δ = kecepatan arus di bagian atas boundary layer air (m/s)

β = sudut antara arus rata-rata dengan arah propagasi

Modul MT menerapkan model stokastik untuk interaksi aliran dan sedimen. Pendekatan ini pertama kali dikembangkan oleh Krone (1962). Menurut Krone, deposisi dihitung menggunakan formula :

$$S_D = w_s c_b p_d \quad (2.7)$$

dimana :

S_D = deposisi

w_s = settling velocity (m/s)

c_b = konsentrasi dekat dasar (kg/m³)

p_d = probabilitas deposisi $\left(1 - \frac{\tau_b}{\tau_{ce}}, \tau_b > \tau_{ce} \right)$

τ_b = tegangan geser dasar (N/m²)

τ_{cd} = tegangan geser dasar kritis untuk deposisi (N/m²)

Erosi dapat digambarkan dalam dua cara tergantung apakah dasarnya rapat dan terkonsolidasi atau lunak dan sebagian terkonsolidasi (Mehta, 1989).

Dasar yang lunak dan sebagian terkonsolidasi :

$$S_E = E \exp \left[\alpha \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right)^{1/2} \right], \tau_b > \tau_{ce} \quad (2.8)$$

dimana :

α = koefisien ($\text{m/N}^{1/2}$)

E = erodibilitas dasar ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

τ_{ce} = tegangan geser dasar kritis untuk erosi (N/m^2)

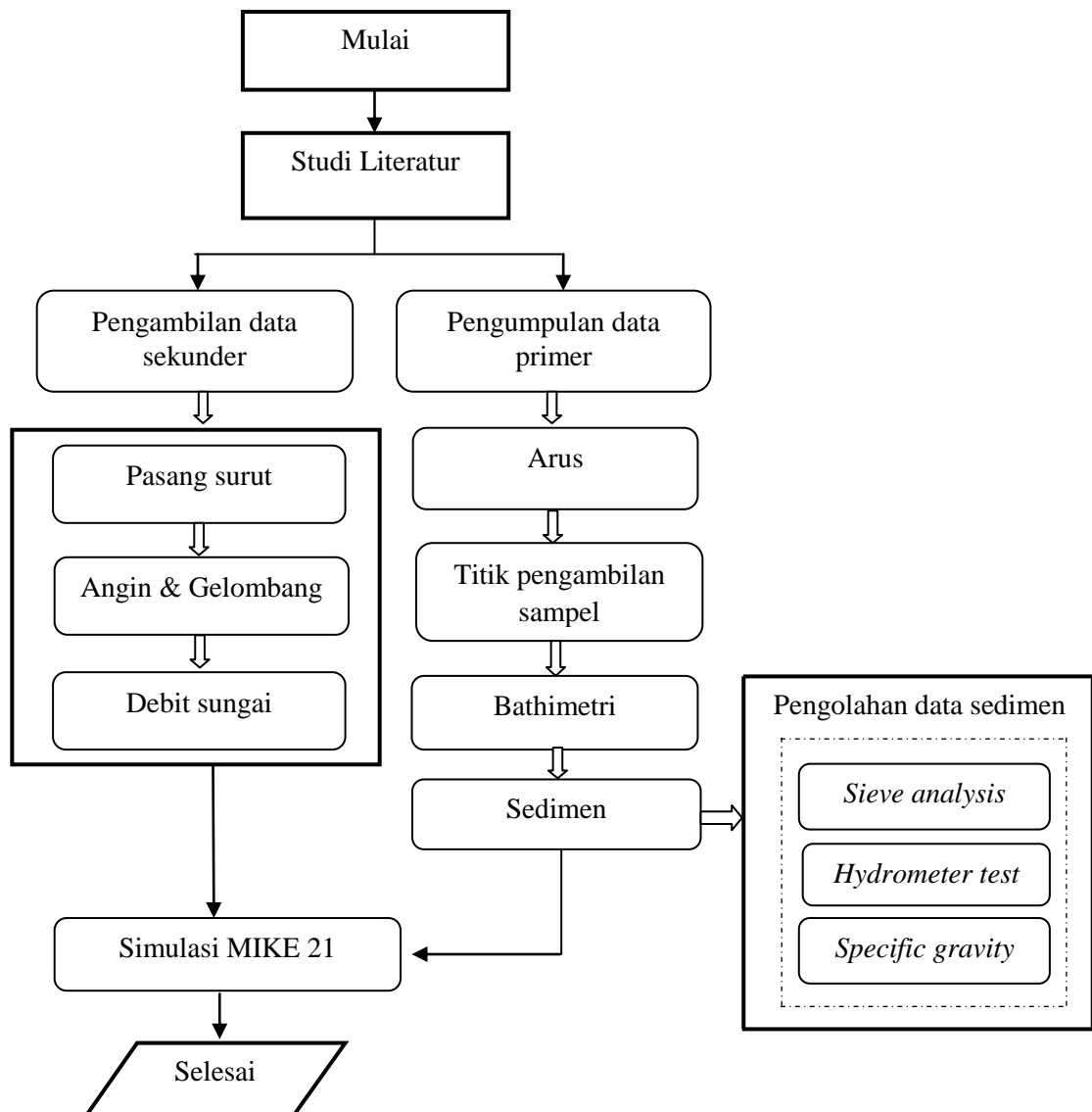
τ_b = tegangan geser dasar (N/m^2)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

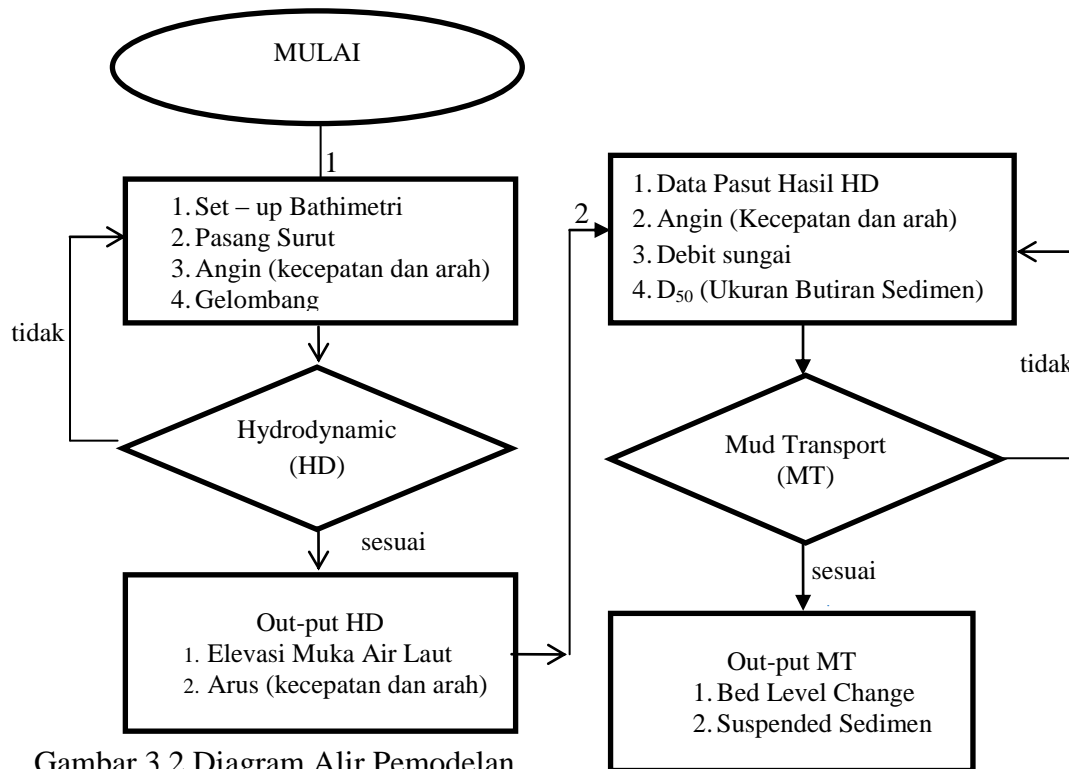
3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam tugas akhir ini, tahapan metode yang digunakan untuk melaksanakan proses penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pemodelan MIKE 21 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan

3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pengerjaan pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.2.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur yang dilakukan dengan mencari dan mempelajari paper, jurnal, tesis dan buku-buku yang berkaitan dengan penelitian ini serta mempelajari tentang perangkat lunak DHI Mike. Sedangkan data, akan dikumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini seperti Tabel 3.1 yaitu data sekunder serta melakukan pengamatan langsung di lapangan (data primer).

Tabel 3.1 Jenis dan sumber data yang diperlukan

| NO | JENIS DATA | SIFAT DATA | | SUMBER |
|----|---------------------|------------|---|---------------------|
| | | P | S | |
| 1 | Pasang surut | | √ | Dishidros |
| 2 | Angin dan Gelombang | | √ | BMKG Perak Surabaya |
| 3 | Debit sungai | | √ | Perum Jasa Tirta I |
| 4 | Citra | | √ | Google Earth |
| 5 | Arus | √ | | Lapangan |
| 6 | Sedimen | √ | | Lapangan |
| 7 | Bathimetri | √ | | Lapangan |
| 8 | Penentuan posisi | √ | | Lapangan |

Ket : P : Primer ; S : Sekunder

3.2.1.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa data arah dan kecepatan angin bulan Agustus 2015, data pasang surut bulan Agustus 2015, debit sungai bulan Agustus 2015 dan citra satelit. Data pasang surut diperoleh dari Dinas Hidrooseanografi TNI-AL, data angin dan gelombang diperoleh dari Stasiun Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Perak, Surabaya, data debit sungai dari Perum Jasa Tirta I dan data citra diperoleh dari google earth.

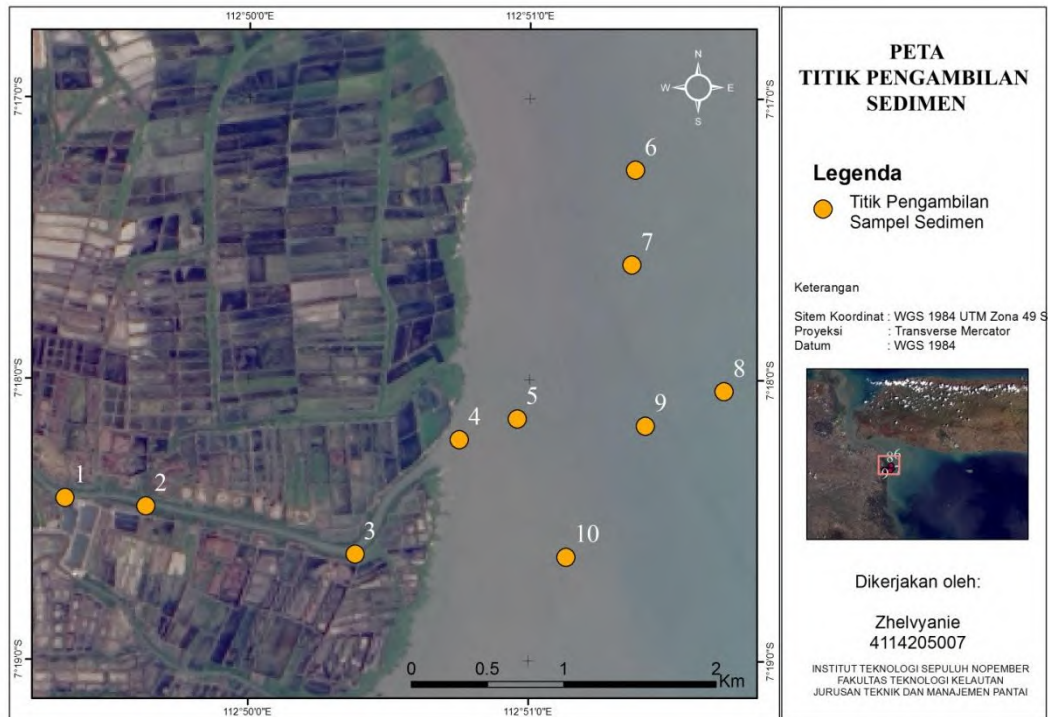
3.2.1.2 Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan selama 3 hari yaitu pada tanggal 24-26 Agustus 2015. Data primer tersebut meliputi data arus yang diperoleh dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profilers*), pengambilan sedimen dengan menggunakan *grab sampler*, data bathimetri dengan menggunakan *echosounder* dan penentuan posisi dari titik-titik pengambilan sampel dengan menggunakan GPS (*Global Positioning System*) Garmin.

Didalam penelitian ini ada 10 titik lokasi pengambilan sampel sedimen mulai dari badan sungai sampai muara sungai Wonokromo. Titik-titik koordinat dari 10 titik pengambilan sampel sedimen diketahui dengan menggunakan GPS Garmin. Titik-titik koordinat tersebut disajikan pada Tabel 3.2. Peta Lokasi Penelitian dan pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.3.

Tabel 3.2 Koordinat lokasi pengambilan sampel sedimen

| TITIK | LINTANG | BUJUR |
|-------|---------------|----------------|
| 1 | 18.425' 07" S | 49.344' 112" T |
| 2 | 18.454' 07" S | 49.632' 112" T |
| 3 | 18.622' 07" S | 50.379' 112" T |
| 4 | 18.214' 07" S | 50.749' 112" T |
| 5 | 18.140' 07" S | 50.955' 112" T |
| 6 | 17.254' 07" S | 51.373' 112" T |
| 7 | 17.591' 07" S | 51.362' 112" T |
| 8 | 18.040' 07" S | 51.692' 112" T |
| 9 | 18.164' 07" S | 51.412' 112" T |
| 10 | 18.630' 07" S | 51.131' 112" T |



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian dan pengambilan sampel

3.3 Pengolahan data

3.3.1 Analisa sedimen di laboratorium

Pada koordinat titik yang telah ditentukan sebelumnya, sampel sedimen diambil dengan menggunakan *grab sampler*. Sampel sedimen yang telah diambil kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan selanjutnya dianalisa di laboratorium. Sampel sedimen dianalisa dengan analisa ayakan, analisa hidrometer dan *specific gravity (Gs)*.

Tahapan awal pengerjaan sedimen adalah sebagai berikut :

1. 10 Sampel sedimen dari 10 titik pengambilan sampel di lapangan dikeringkan dalam oven selama 48 jam (2 hari)
2. Sampel yang sudah kering kemudian ditimbang sebanyak 500 gram tiap 10 sampel untuk dilakukan pengujian selanjutnya
3. Kemudian dilakukan pengujian ayakan basah dengan menggunakan ayakan No. 200 terhadap 10 sampel tersebut
4. Dari hasil pengujian ayakan basah untuk masing-masing sampel didapatkan 2 jenis sampel sedimen, yaitu sedimen yang lolos ayakan dan tidak lolos ayakan.
5. Tiap-tiap sampel sedimen yang lolos ayakan No. 200 kemudian direndam dan dibiarkan mengendap selama kurang lebih 3 jam dan dikeringkan untuk dilakukan analisa hidrometer dan *Specific Gravity (Gs)*.
6. Sementara tiap-tiap sampel sedimen yang tidak lolos ayakan dioven selama 24 jam untuk dilakukan pengujian selanjutnya yaitu uji ayakan kering.

3.3.1.1 Tes Analisa Ayakan (Sieve Analysis)

Tes analisa ayakan dilakukan dilakukan untuk sedimen yang tidak lolos saringan No. 200 dengan menggunakan satu alat analisa ayakan untuk mendapatkan ukuran butir. Tahap pengerjaannya adalah sebagai berikut :

1. 10 sampel sedimen yang tidak lolos ayakan basah saringan No. 200 dan telah dikeringkan selama 24 jam dalam oven kemudian diambil sebanyak 200 gram

2. Kemudian dilakukan proses pengayakan dan sampel sedimen yang tertahan pada masing-masing ayakan kemudian ditimbang
3. Sedimen yang tertahan di tiap ayakan ditimbang dan dicatat dalam tabel hasil pengukuran

3.3.1.2 Test Hidrometer

Test hidrometer dilakukan juga dilakukan untuk sedimen yang lolos ayakan No. 200 dan dianalisa dengan satu set alat uji untuk mengetahui kecepatan endapan sedimen atau butir-butir tanah.

1. 10 sampel yang lolos ayakan basah No. 200 yang telah kering kemudian ditimbang dan diambil sebanyak 50 gram dari masing-masing sampel untuk dilakukan analisa hidrometer
2. Ada beberapa sampel yang beratnya tidak mencapai 50 gram sehingga tidak bisa dilakukan tes hidrometer seperti sampel sedimen pada no 5, 8 dan 9 yang beratnya kurang dari 50 gram, sehingga test ini hanya dilakukan untuk 7 sampel. Sampel tersebut kemudian direndam selama 24 jam dengan menggunakan cairan Calgon sebanyak 125 ml
3. Setelah 24 jam sampel sedimen kemudian di masukkan ke dalam gelas silinder dengan penambahan air suling hingga mencapai 1000 cc
4. Sebagai pembanding, dilakukan campuran Calgon dan air suling sebanyak 1000 cc pada gelas silinder lainnya, kemudian alat ukur Hidrometer diletakkan pertama pada silinder ini dan dilakukan pencatatan nilai yang terbaca pada alat ukur hidrometer (Zo)
5. Sampel sedimen, larutan Calgon dan air suling kemudian diaduk rata dengan cara membolak-balik gelas ukur yang telah ditutup dengan menggunakan karet
6. Letakkan gelas ukur yang telah dikocok tadi berdampingan dengan gelas ukur yang berisi larutan Calgon dan air suling.
7. Catat waktu test dengan segera setelah alat ukur hidrometer dimasukkan ke dalam cairan berisi sedimen, larutan Calgon dan air suling

8. Waktu pembacaan Hidrometer yaitu 0,5 menit, 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 8 menit, 16 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, 180 menit, 240 menit dan 1440 menit.
9. Pengukuran temperatur dilakukan setiap 30 menit sekali

3.3.1.3 Tes Penentuan Specific Gravity (Gs)

Specific Gravity (Gs) adalah perbandingan antara berat jenis solid, γ_s (dari butiran tanah) dengan berat jenis air, γ_w jadi $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

1. Untuk tes ini diperlukan sedimen sebanyak 20 gram dari jumlah sedimen yang lolos ayakan No. 200 pada tes ayakan basah
2. Dari 10 sampel yang ada, hanya 8 sampel yang dapat dilakukan tes penentuan specific gravity yaitu sampel No. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 dan 9 hal ini dikarenakan sampel No. 5 dan 10 tidak mencapai berat 20 gram
3. Piknometer kosong ditimbang terlebih dahulu setelah diberi label
4. 8 sampel sedimen yang ada digerus sampai halus menjadi bubuk dengan menggunakan mangkok porselen kemudian ditimbang dan diletakkan ke dalam bejana piknometer, timbang piknometer yang sudah berisi sedimen dan direndam dengan larutan aquades selama 24 jam
5. Setelah 24 jam, piknometer berisi sedimen diletakkan pada *vacum pump* selama 15 menit
6. Perhitungan nilai Gs menggunakan rumusan :

$$G_s = \frac{W_4}{(W_3 + W_4) - W_2} \quad (3.1)$$

dimana :

W_4 : berat tanah kering ; $W_4 = W_1 - W_p$

W_3 : Berat piknometer + asir suling

W_2 : Berat air suling + tanah + piknometer

W_1 : Berat piknometer + tanah kering

W_p : Berat piknometer kosong

3.3.2 Pengolahan Data Angin

Dari data angin yang tersedia disajikan dalam bentuk tabel atau diagram. Tabel yang dibuat yaitu tabel frekuensi dan persentase kejadian angin serta diagram yang dibuat adalah diagram mawar angin atau *wind rose* dengan bantuan software WR-Plot. Data angin sekunder yang digunakan adalah data angin bulan Agustus 2015.

3.4 Pemodelan Numerik

Proses permodelan dengan menggunakan Mike 21 dimulai dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam permodelan. Data-data tersebut disiapkan untuk digunakan sebagai input permodelan. Untuk kondisi bathimetri digunakan data DISHIDROS dan data bathimetri hasil pengukuran. Setelah itu dilakukan pengaturan konfigurasi model yaitu penyusunan *mesh* dan bathimetri permodelan. Tahap selanjutnya adalah persiapan input data *hydrodynamic module* (HD), data yang disiapkan adalah syarat-syarat batas yang berupa data pasang surut, data angin dan debit sungai. Hasil output HD berupa elevasi muka air laut untuk dijadikan input *mud transport module* (MT). Hasil model HD diverifikasi terlebih dahulu dengan data sekunder pasut dan arus dan tahap akhir adalah melakukan proses permodelan sedimen.

Dalam penelitian ini dilakukan empat simulasi yang berbeda data inputannya. Simulasi ini bertujuan untuk melihat sebaran sedimen, perubahan kedalaman dan besarnya sedimentasi pada wilayah penelitian. Simulasi yang pertama adalah simulasi lengkap yaitu simulasi yang data inputannya berupa data debit sungai, data gelombang dan data pasang surut. Simulasi yang kedua dengan menghilangkan data debit sungai (tanpa debit), jadi input datanya hanya berupa data gelombang dan pasang surut. Simulasi ketiga yaitu dengan menghilangkan data pasang surut (tanpa pasut), jadi input datanya hanya data debit sungai dan gelombang. Simulasi keempat yaitu simulasi dengan menghilangkan data gelombang (tanpa gelombang), jadi input datanya hanya data debit sungai dan pasang surut.

Analisa perubahan morfologi dasar perairan dilakukan dengan cara membandingkan bathimetri awal simulasi dengan akhir simulasi Mike 21 (*total bed thickness change*) dengan menggunakan Surfer 12.

3.5 Proses Validasi

Proses validasi ini dilakukan untuk memperoleh apakah hasil pemodelan telah sesuai (*match*) dengan data yang digunakan. Setiap tahap pemodelan harus divalidasi untuk meyakini kebenaran dan ketepatannya. Jika hasil dari pemodelan data awal telah sesuai dengan data lapangan, maka pemodelan dapat dilanjutkan. Dalam penelitian ini dilakukan proses validasi arus dan pasang surut.

Validasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah rerata persentase kesalahan dari error absolut dan *root mean square error* (RMSE). Rerata persentase kesalahan dari error absolut juga disebut MAPE (*mean absolute percentage error*). Formula untuk menghitung persentase kesalahan dari error absolut (Wei, 2006) adalah sebagai berikut :

$$MAPE = \left(\frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \left| \frac{e_l}{z_{n+1}} \right| \right) 100\% \quad (3.2)$$

dimana, M adalah banyaknya data dan e_l didapatkan dari persamaan berikut :

$$e_l = Z_{n+l} - Z_n(l) \quad (3.3)$$

dimana, Z_{n+l} adalah data pengukuran dan $Z_n(l)$ adalah data pemodelan.

Formula untuk menghitung RMSE yaitu :

$$RMSE = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M e_l^2 \quad (3.4)$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah badan sungai dan muara Kali Wonokromo. Dari peta aliran sungai di Kota Surabaya (Gambar 4.1) memperlihatkan bahwa aliran sungai di Kota Surabaya dibagi menjadi beberapa cabang dengan pembangunan dam dan pintu air. Kali Wonokromo merupakan terusan yang bermuara langsung ke selat Madura yang alirannya dibatasi oleh dam Jagir. Kali Wonokromo juga merupakan salah satu daerah plat w, dimana pintu airnya dibuka untuk membuang kelebihan air pada saat musim hujan guna mencegah banjir di Kota Surabaya dan ditutup saat musim kemarau untuk memenuhi kebutuhan air di Kota Surabaya (Hoekstra, 1988).



Gambar 4.1 Peta Aliran Sungai di Kota Surabaya, Jawa Timur
(Sumber : Perum Jasa Tirta I, 2015)

Aliran Sungai Brantas yang mengalir ke kota Surabaya melewati pintu air Mirip, dam Gunungsari dan terbelah menjadi dua dimana dam Jagir menuju Kali

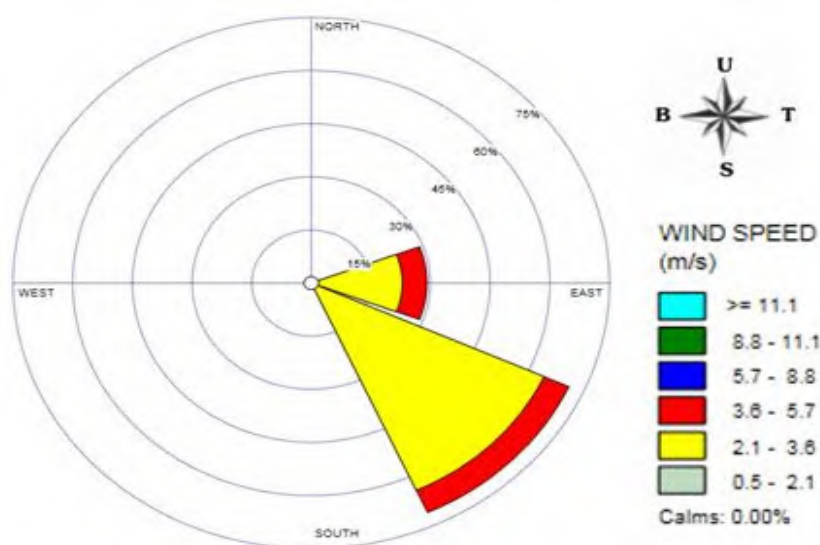
Wonokromo sementara pintu air Wonokromo dan dam Gubeng menuju ke Kali Mas. Aliran dari sungai Brantas ke Kali Porong hanya melewati dam Lengkong.

4.2 Analisa Data

4.2.1 Data Hidro-oseanografi

4.2.1.1 Angin

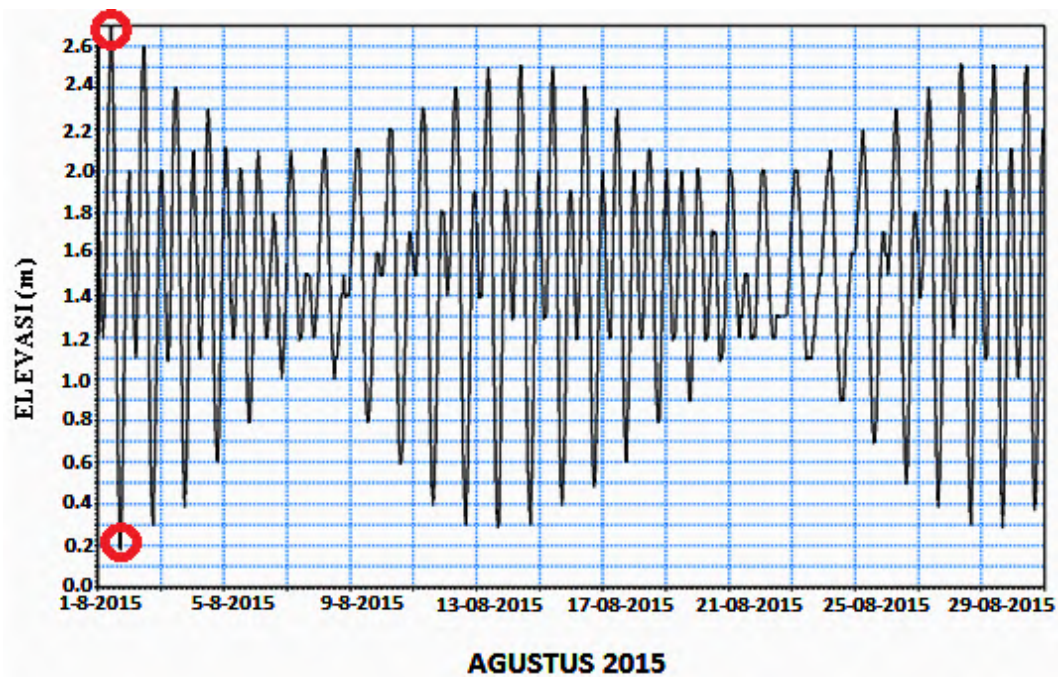
Data angin bulan Agustus tahun 2015 diolah dengan menggunakan bantuan software WR-Plot. Angin dikelompokkan berdasarkan arah dan kecepatan, dan diperoleh arah angin Tenggara (70.83%) sebagai angin dominan. Data analisa angin disajikan pada Lampiran 1. Kecepatan angin dominan sebesar 4-7 knots atau 2,1 m/s - 3,6 m/s. Dari Gambar 2.3 diketahui bahwa daerah ini merupakan daerah perairan dengan sedikit hembusan angin yang menimbulkan terbentuknya gelombang kecil (*small wavelets*) dengan puncak kelihatan seperti kaca namun tidak pecah. Angin akan mempengaruhi pola pergerakan dan kecepatan arus yang terjadi pada daerah estuari Wonorejo. Angin juga dapat membangkitkan energi gelombang yang akan mempengaruhi pola pergerakan dari transpor sedimen. Data angin ini merupakan data input (*wind forcing*) yang digunakan pada modul hidrodinamik pada program MIKE 21. Data angin yang diperoleh adalah data sekunder dari tanggal 1 Agustus 2015 – 31 Agustus 2015.



Gambar 4.2 Diagram mawar angin 1 Agustus 2015 – 31 Agustus 2015
(Sumber : Software WR Plot)

4.2.1.2 Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan merupakan data dari daftar pasang surut kepulauan Indonesia tahun 2015 yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oceanografi (Dishidros) TNI AL. Data yang digunakan adalah data pasang surut selama 31 hari pada periode 1 Agustus 2015 – 31 Agustus 2015. Tipe pasang surutnya adalah *mixed, predominantly semi-diurnal tide* (tipe pasang surut dimana dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda). Variasi muka air (*water level*) bervariasi yaitu berkisar antara 0,2 meter saat surut (*neap tide*) menjadi 2,7 meter saat pasang (*spring tide*).



Gambar 4.3 Grafik pasang surut selama periode 1 Agustus 2015 sampai dengan 31 Agustus 2015 (Sumber : Software MIKE 21)

Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai MSL (*Mean Sea Level*) sebesar 1,5 meter, nilai HHWL (*Highest High Water Level*) sebesar 1,2 meter dan nilai LLWL (*Lowest Low Water Level*) sebesar -1,3 meter.

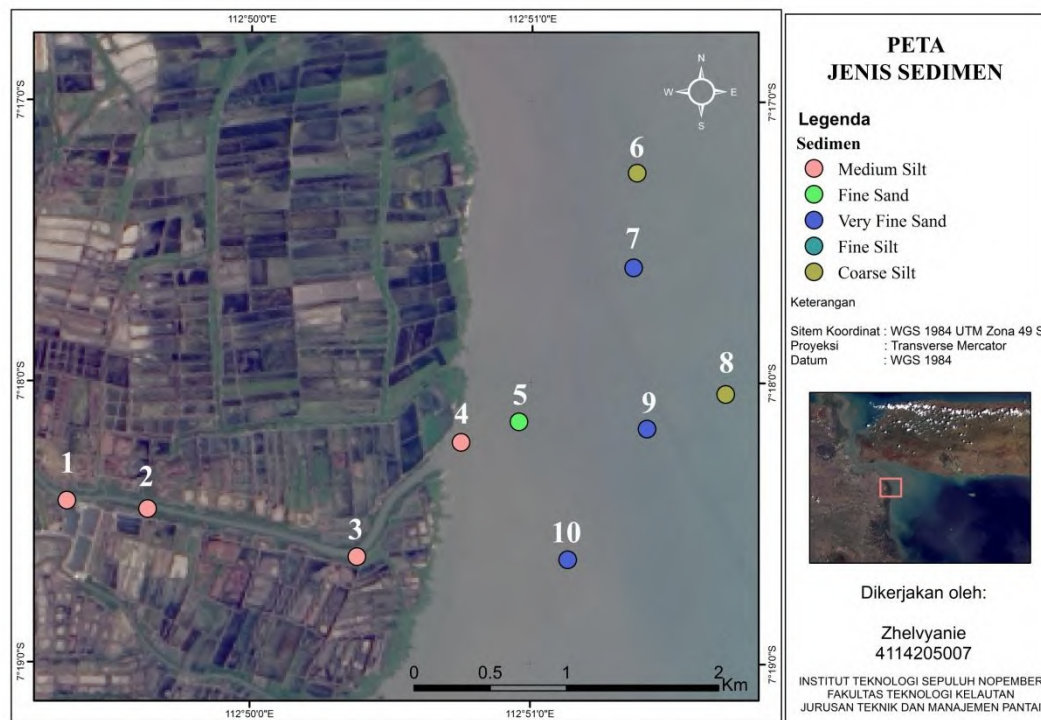
4.2.2 Data Sedimen

Sampel sedimen diambil pada 10 titik dengan menggunakan *Grab Sampler*. Sampel sedimen kemudian dimasukkan ke dalam plastik dan selanjutnya dianalisa di laboratorium. Hasil analisa ayakan, hidrometer dan *specific gravity* disajikan pada Lampiran 2. Pembagian fraksi dan nilai *median grain size* (D50) untuk sedimen di daerah perairan muara Kali Wonokromo adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Pembagian Fraksi dan *Median Grain Size* (D50) untuk Sedimen Muara Kali Wonokromo

| Titik | Persentasi (%) | | | D ₅₀ (mm) | D ₅₀ (μm) | Jenis Butir |
|------------------|----------------|-------|--------|----------------------|----------------------|----------------|
| | Kerikil | Pasir | Lumpur | | | |
| 1 | 0 | 2.7 | 97.3 | 0.022 | 22 | medium silt |
| 2 | 0.28 | 2.52 | 97.2 | 0.018 | 18 | medium silt |
| 3 | 0 | 3.51 | 96.49 | 0.015 | 15 | medium silt |
| 4 | 0.02 | 2.52 | 97.46 | 0.015 | 15 | medium silt |
| 5 | 4.93 | 85.11 | 9.96 | 0.13 | 130 | fine sand |
| 6 | 0.48 | 22.68 | 76.84 | 0.033 | 33 | coarse silt |
| 7 | 2.75 | 73.44 | 23.81 | 0.095 | 95 | very fine sand |
| 8 | 6.9 | 33.02 | 60.08 | 0.05 | 50 | coarse silt |
| 9 | 2.94 | 60.09 | 36.97 | 0.085 | 85 | very fine sand |
| 10 | 2.94 | 60.09 | 36.97 | 0.09 | 90 | very fine sand |
| Rata-rata | | | | 0.055 | 55 | |

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa ukuran butir rata-rata sedimen di perairan Muara Kali Wonokromo adalah 0.055 mm atau 55 μm. Berdasarkan Tabel 2.1, maka jenis sedimen yang dominan tersebar di daerah perairan Muara Kali Wonokromo adalah lumpur/*silt*. Peta jenis sedimen di daerah perairan Muara Kali Wonokromo adalah sebagai berikut :

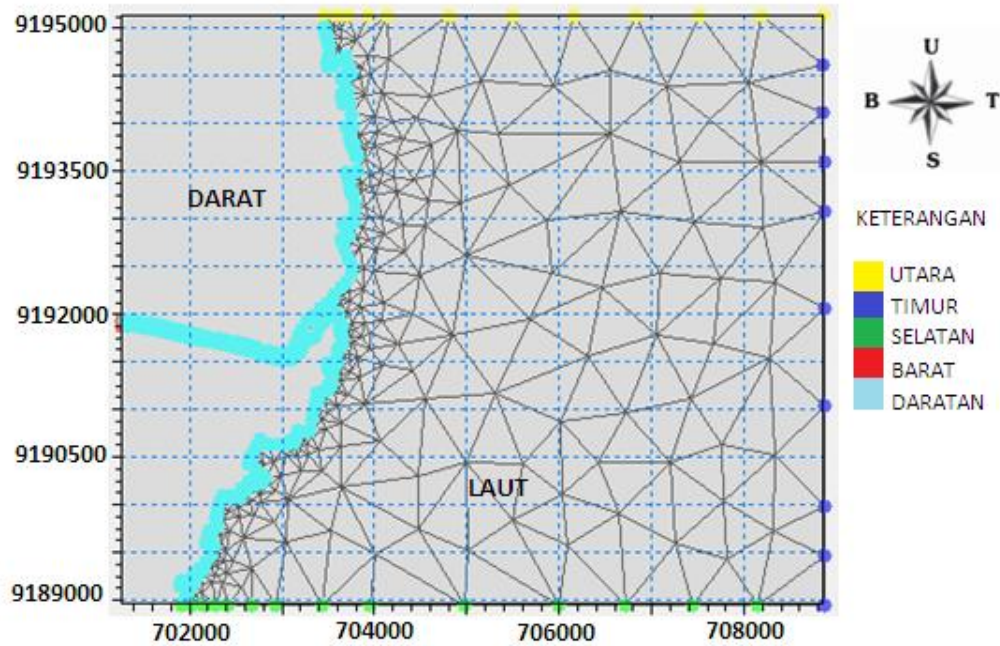


Gambar 4.4 Peta jenis sedimen di daerah perairan Muara Kali Wonokromo, Surabaya

4.3 Kondisi Batas Lingkungan dan Model

4.3.1 Kondisi Batas

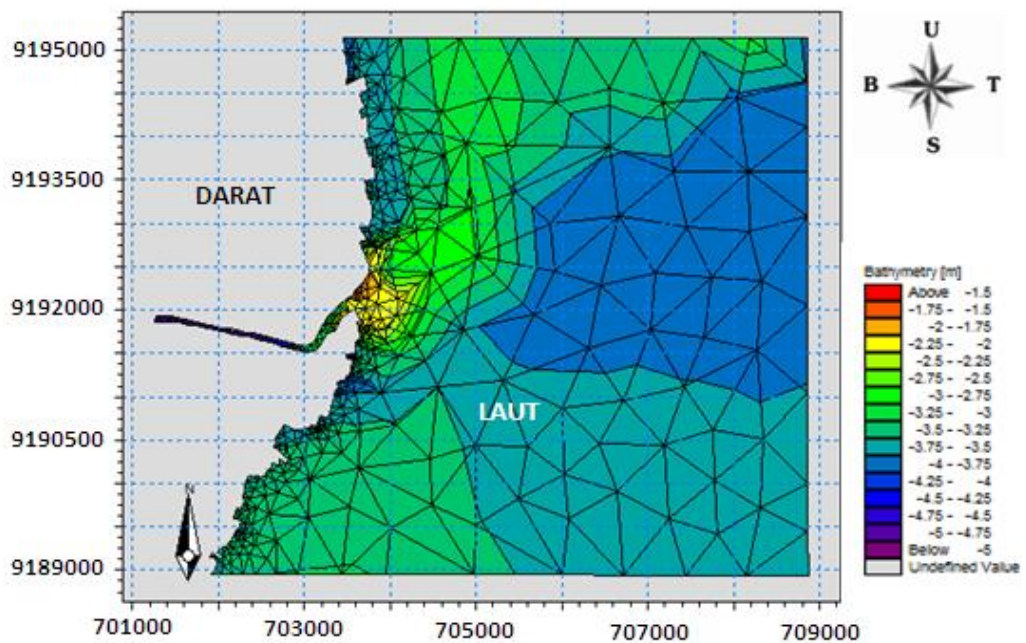
Tahap awal pada simulasi Mike 21, dilakukan pemodelan wilayah perairan pada lokasi penelitian. Pembuatan model dilakukan dengan menginput data bathimetri beserta dengan kondisinya, kemudian dilakukan meshing pada model. Kondisi batas yang diberikan berupa kondisi batas perairan dan daratan. Kemudian menginput data bathimetri dan posisi UTM-nya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi morfologi dasar perairan dengan tampilan warna kedalaman dasar yang berbeda.



Gambar 4.5 Kondisi batas untuk daerah studi
(Sumber : Software MIKE 21)

4.3.2 Model

Berikut tampilan dari model dengan data bathimetrimya:



Gambar 4.6 Tampilan batimetri pada *mesh generator*
(Sumber : Software MIKE 21)

4.4 Simulasi Model Hidrodinamik dan Validasi

Simulasi hidrodinamika pada model ini diberikan kondisi batas sebanyak dua buah. Diantaranya kondisi batas untuk perairan (utara, timur dan selatan) diberikan input pasang surut dengan waktu 31 hari yang dimulai dari 1 Agustus 2015 sampai dengan 31 Agustus 2015. Kondisi batas aliran Sungai (barat) adalah input debit sungai (*river discharge*). Simulasi sebanyak 4320 *time step* dengan interval 600 detik atau 10 menit

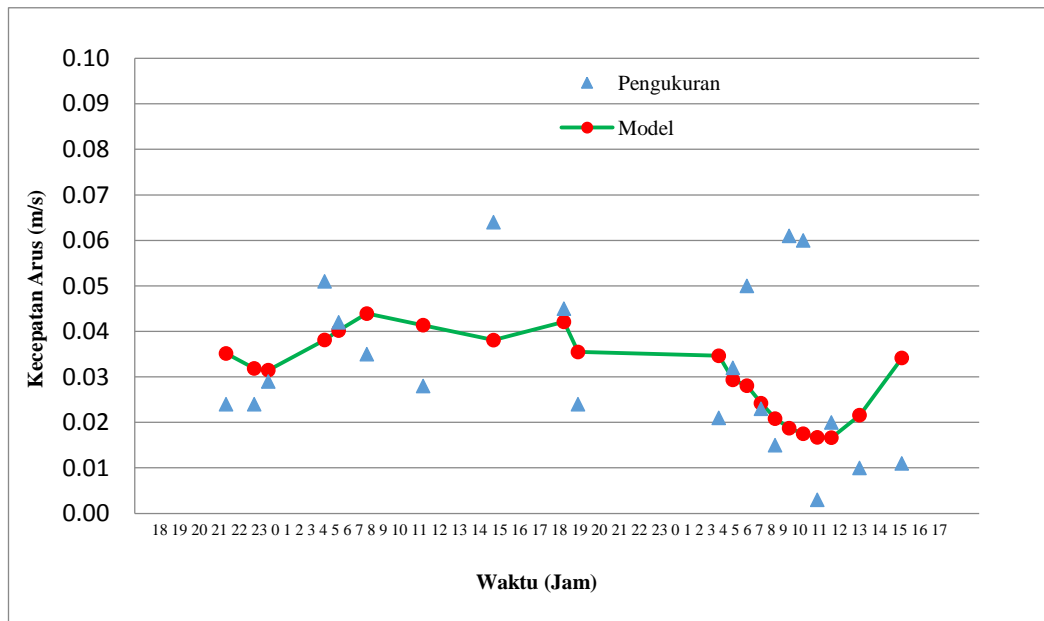
4.4.1 Validasi

Validasi perlu dilakukan untuk mengetahui keakuratan model yang telah dibuat dengan cara membandingkan data arus dan pasang surut dari data sekunder yang telah ada dengan data hasil simulasi pemodelan. Data kecepatan arus dan elevasi muka air diperlukan untuk validasi data dengan menggunakan program *data extraction* (.dxfm). Titik pengukuran arus dan pasang surut berada pada titik delapan.

4.4.1.1 Arus

Data dari hasil simulasi perlu divalidasi untuk mengetahui sejauh mana ketepatan hasil simulasi yang sudah dilakukan. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan data kecepatan arus yang didapat dari hasil simulasi dengan data sekunder berupa pengukuran arus di muara Kali Wonokromo, yang disesuaikan dengan waktu pengamatan dan *time step* pemodelan. Parameter yang digunakan untuk memvalidasi data arus adalah kecepatan arus hasil simulasi hidrodinamika.

Berikut ini adalah scatter perbandingan dari hasil pengukuran dan simulasi kecepatan arus.



Gambar 4.7 Scatter diagram perbandingan kecepatan arus simulasi dan pengukuran

Perhitungan rerata persentase kesalahan dari *error absolute* atau MAPE (*mean absolute percentage error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*), dengan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.2 Nilai RMSE dan Persentase Kesalahan

| Persentase Kesalahan | Perhitungan RMSE | Kecepatan rata-rata (m/s) | |
|----------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| | | Hasil Simulasi | Data Pengukuran |
| 28.42% | 0.018 | 0.0305 | 0.0320 |

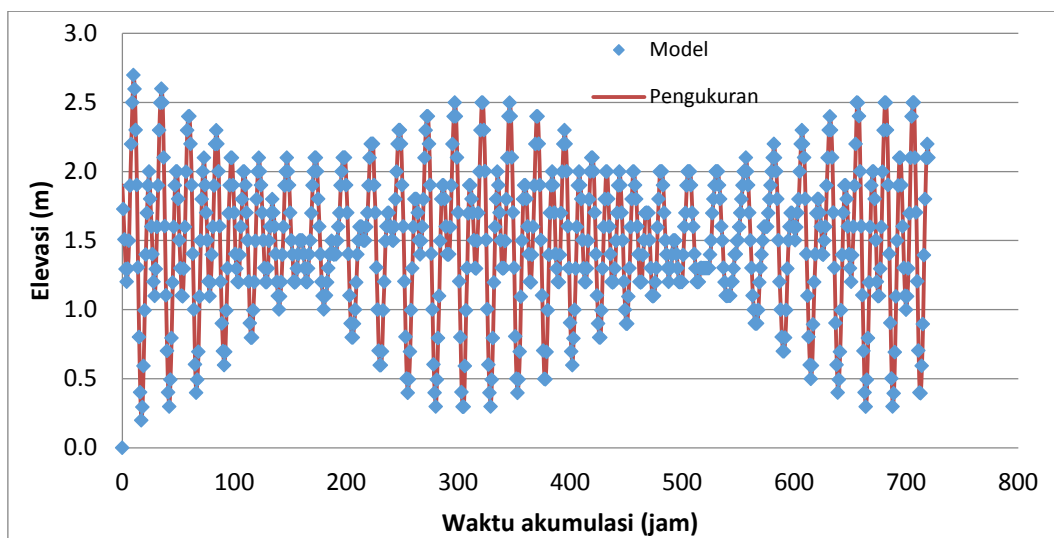
4.4.1.2 Pasang Surut

Validasi pasang surut dilakukan dengan membandingkan data ketinggian elevasi muka perairan dari hasil simulasi dan data sekunder, kemudian dilakukan perhitungan rerata persentase kesalahan dari *error absolute* atau MAPE (*mean absolute percentage error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*), dengan nilai sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perbandingan Pasang Surut Hasil Simulasi dan Pengukuran

| Persentase Kesalahan | Perhitungan RMSE | Pasang Surut Rata-rata (m) | |
|----------------------|------------------|----------------------------|----------------|
| | | Data pengukuran | Hasil Simulasi |
| 0.17% | 0.0026 | 1.5004 | 1.5000 |

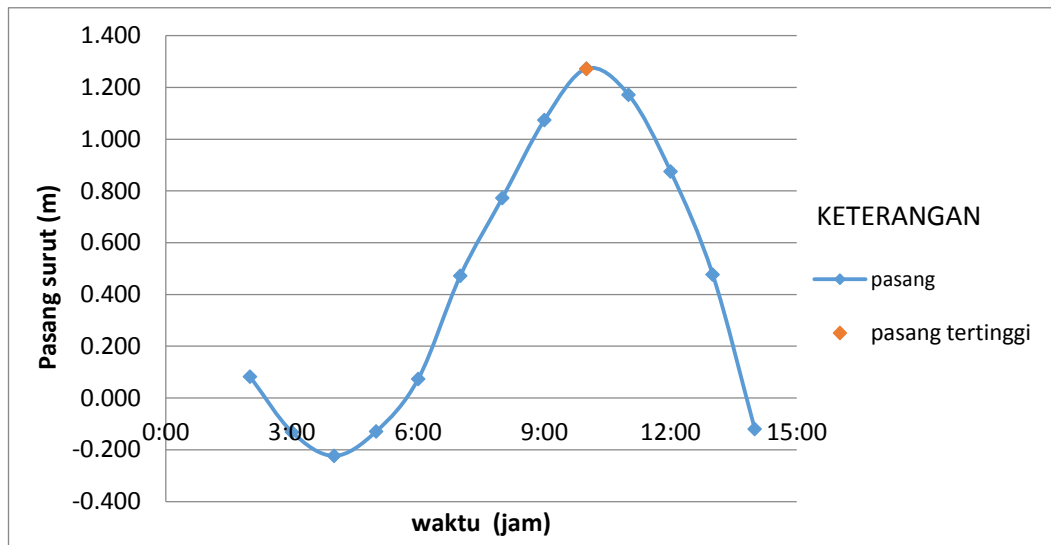
Perbandingan elevasi pasang surut hasil pengukuran dan simulasi dapat dilihat pada Gambar grafik 4.8.



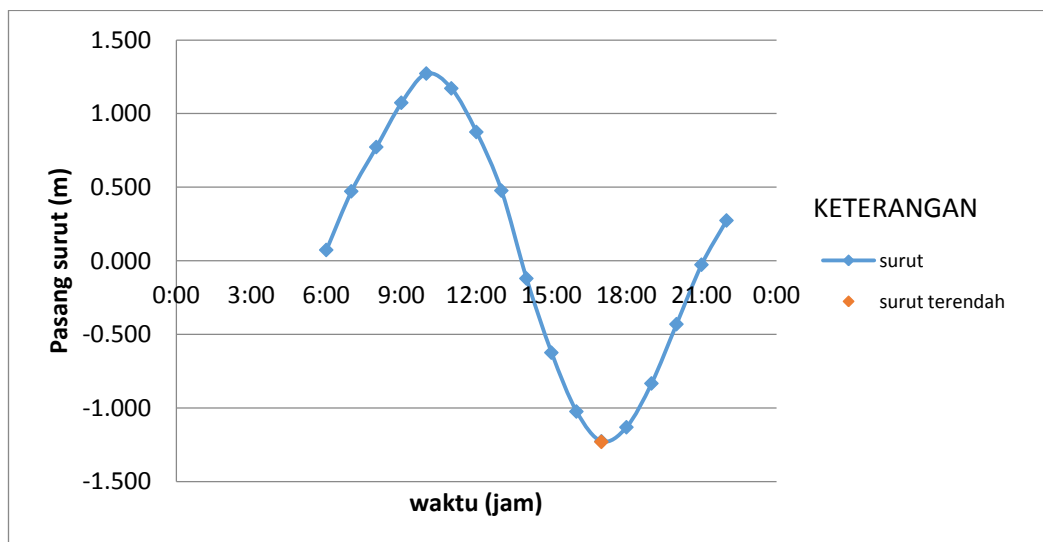
Gambar 4.8 Grafik perbandingan elevasi pasang surut hasil pengukuran dan simulasi

4.4.2 Analisa Pola Arus

Analisa pola arus dilakukan pada 5 titik penelitian pada titik-titik pengambilan sampel yaitu titik 6 sampai titik 10. Analisa pola arus dilakukan pada saat pasang tertinggi dan surut terendah. Dari hasil simulasi diketahui bahwa pasang tertinggi terjadi pada step 60 yaitu pada pukul 10.00 WIB dan surut terendah terjadi pada step 102 yaitu pada pukul 17.00 WIB.



Gambar 4.9 Hasil simulasi pada saat pasang tertinggi (time step 60)

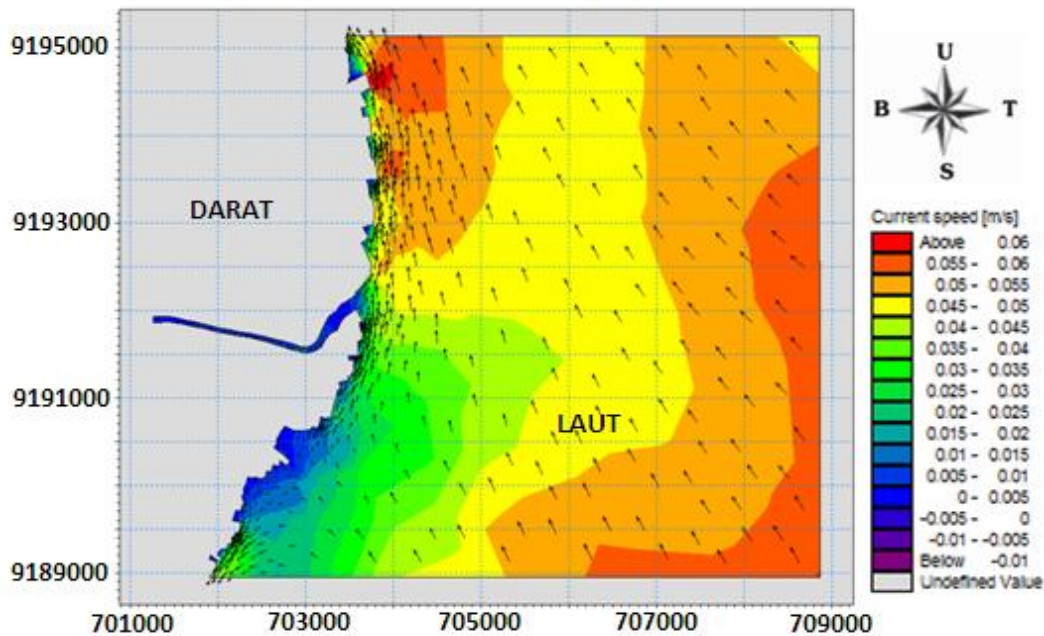


Gambar 4.10 Hasil simulasi pada saat surut terendah (time step 102)

Analisa pola arus saat pasang tertinggi dan surut terendah pada simulasi lengkap, simulasi tanpa debit, simulasi tanpa pasut dan simulasi tanpa gelombang dilakukan untuk mengetahui sebaran sedimen akibat arus.

4.4.2.1 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Lengkap

Berikut adalah pola arus dari simulasi lengkap (debit sungai, pasang surut dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

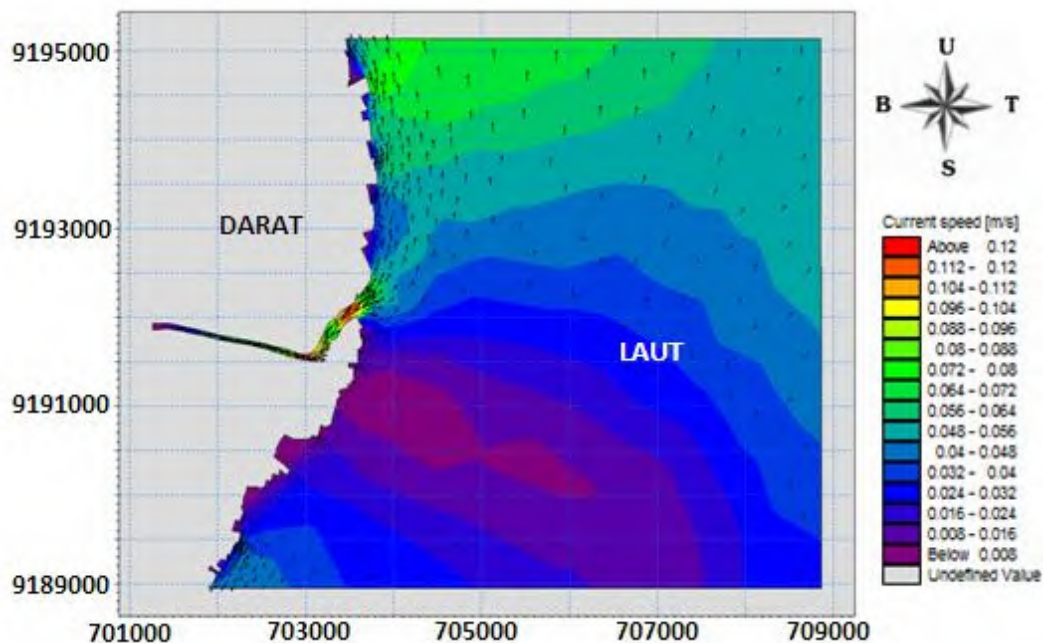


Gambar 4.11 Pola arus hasil simulasi lengkap saat pasang tertinggi
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.4 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Lengkap
Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.050 | 336 |
| 7 | 0.049 | 338 |
| 8 | 0.047 | 333 |
| 9 | 0.047 | 340 |
| 10 | 0.042 | 348 |
| Rata-rata | 0.047 | |

Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa pada saat pasang air laut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah barat laut atau arus menuju ke muara sungai (Gambar 4.12) dengan kecepatan arus sebesar 0,047 m/s atau 4,7 cm/s.



Gambar 4.12 Pola arus hasil simulasi lengkap saat surut terendah (Sumber : Software MIKE 21)

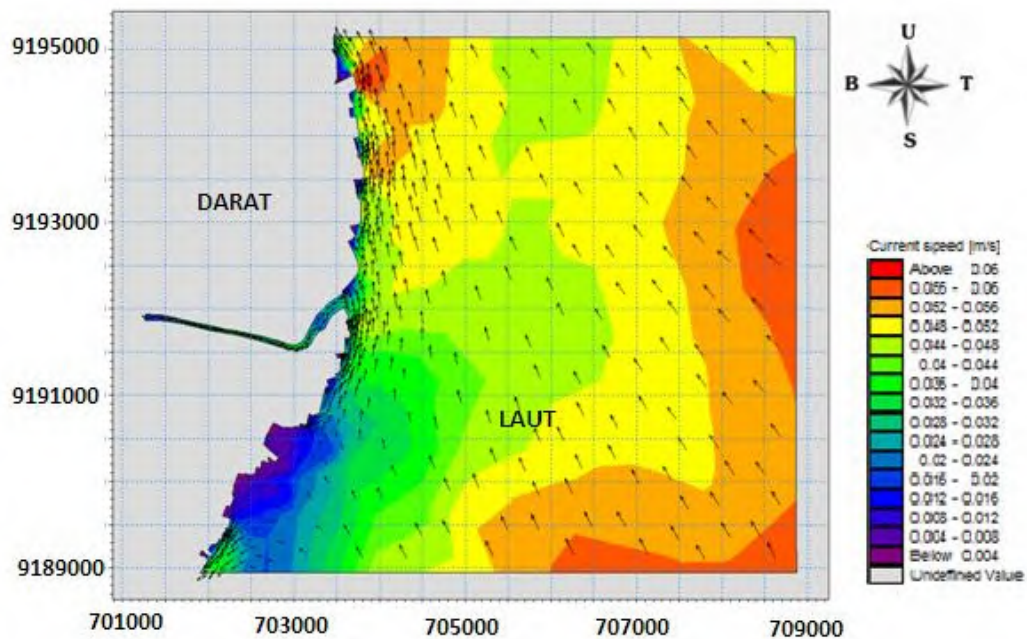
Tabel 4.5 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Lengkap Saat Surut Terendah

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.057 | 4 |
| 7 | 0.048 | 12 |
| 8 | 0.037 | 25 |
| 9 | 0.033 | 26 |
| 10 | 0.016 | 20 |
| Rata-rata | 0.038 | |

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa pada saat surut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah timur laut atau arus menjauhi muara sungai (Gambar 4.12) dengan kecepatan arus sebesar 0,038 m/s atau 3,8 cm/s.

4.4.2.2 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Debit

Berikut adalah pola arus dari simulasi tanpa debit (pasang surut dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

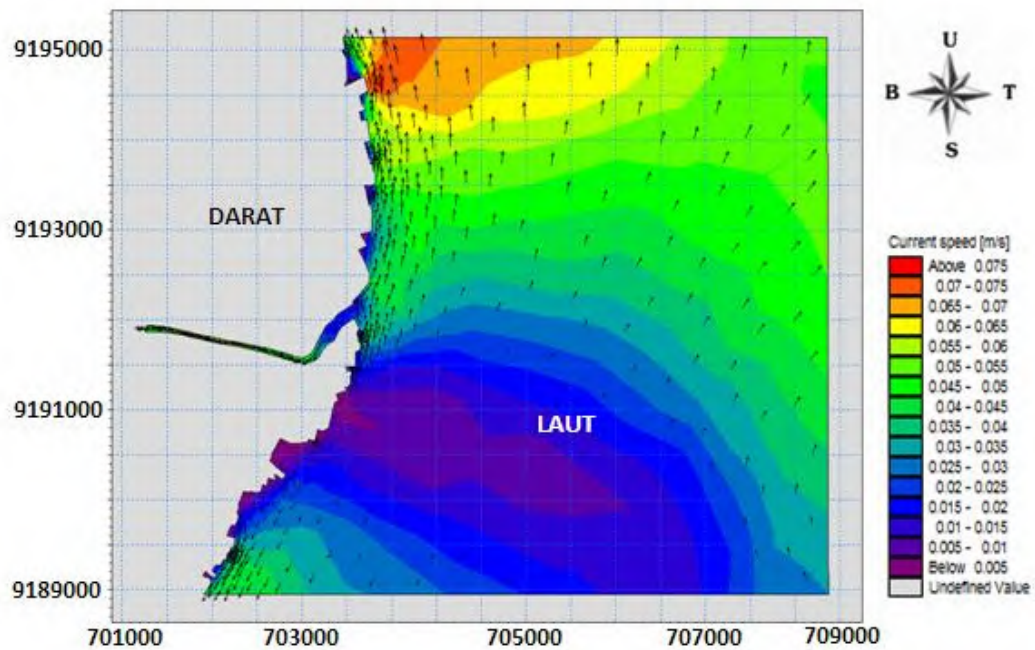


Gambar 4.13 Pola arus hasil simulasi tanpa debit saat pasang tertinggi
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.6 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi
Tanpa Debit Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.048 | 335 |
| 7 | 0.048 | 337 |
| 8 | 0.047 | 333 |
| 9 | 0.047 | 339 |
| 10 | 0.043 | 348 |
| Rata-rata | 0.047 | |

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pada saat pasang air laut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah barat laut atau arus menuju ke muara sungai (Gambar 4.13) dengan kecepatan arus sebesar 0,047 m/s atau 4,7 cm/s.



Gambar 4.14 Pola arus hasil simulasi tanpa debit saat surut terendah (Sumber : Software MIKE 21)

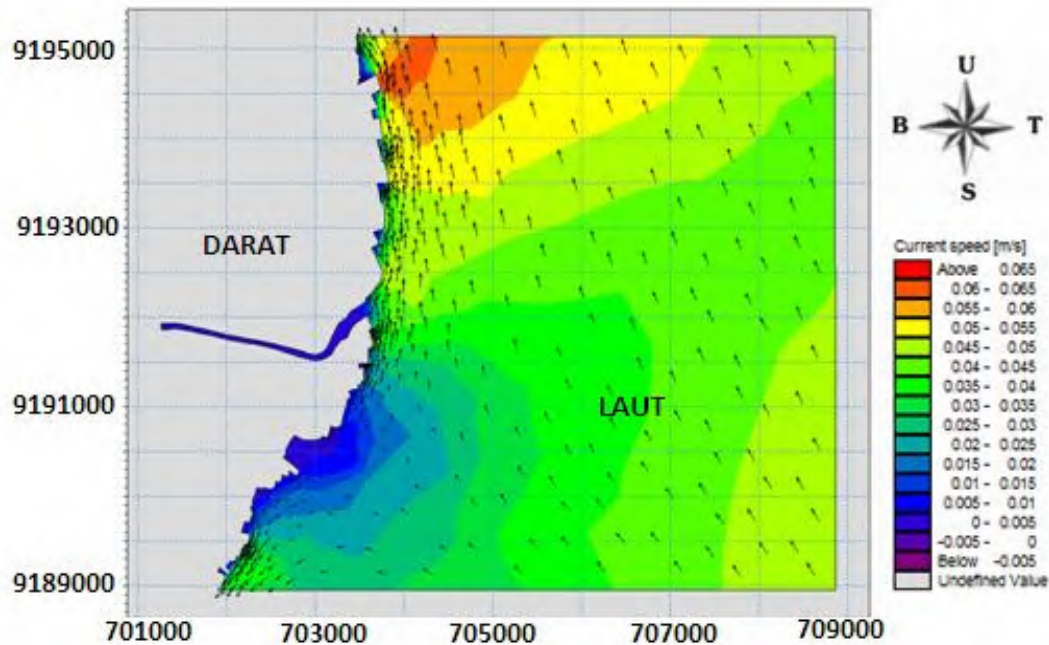
Tabel 4.7 Analisa Pola Aliran Arus Pada Saat Surut Terendah

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.056 | 4 |
| 7 | 0.046 | 10 |
| 8 | 0.036 | 23 |
| 9 | 0.032 | 21 |
| 10 | 0.016 | 8 |
| Rata-rata | 0.037 | |

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa pada saat terjadi surut air laut, arus pada daerah muara menuju ke arah timur laut atau arus menjauhi muara sungai dan menuju ke laut (Gambar 4.14) dengan kecepatan arus sebesar 0,037 m/s atau 3,7 cm/s.

4.4.2.3 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Pasut

Berikut adalah pola arus dari simulasi tanpa pasut (debit sungai dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

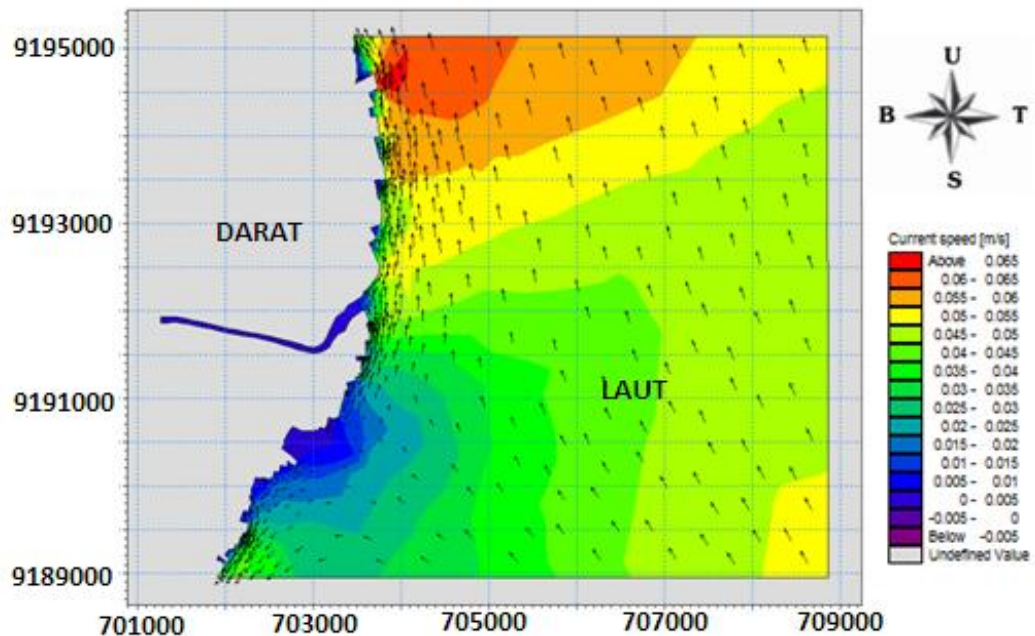


Gambar 4.15 Pola arus hasil simulasi tanpa pasut saat pasang tertinggi (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.8 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.051 | 343 |
| 7 | 0.047 | 345 |
| 8 | 0.041 | 343 |
| 9 | 0.041 | 345 |
| 10 | 0.033 | 346 |
| Rata-rata | 0.043 | |

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pada saat pasang air laut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah barat laut atau arus menuju ke muara sungai (Gambar 4.15) dengan kecepatan arus sebesar 0,043 m/s atau 4,3 cm/s.



Gambar 4. 16 Pola arus hasil simulasi tanpa pasut saat surut terendah
(Sumber : Software MIKE 21)

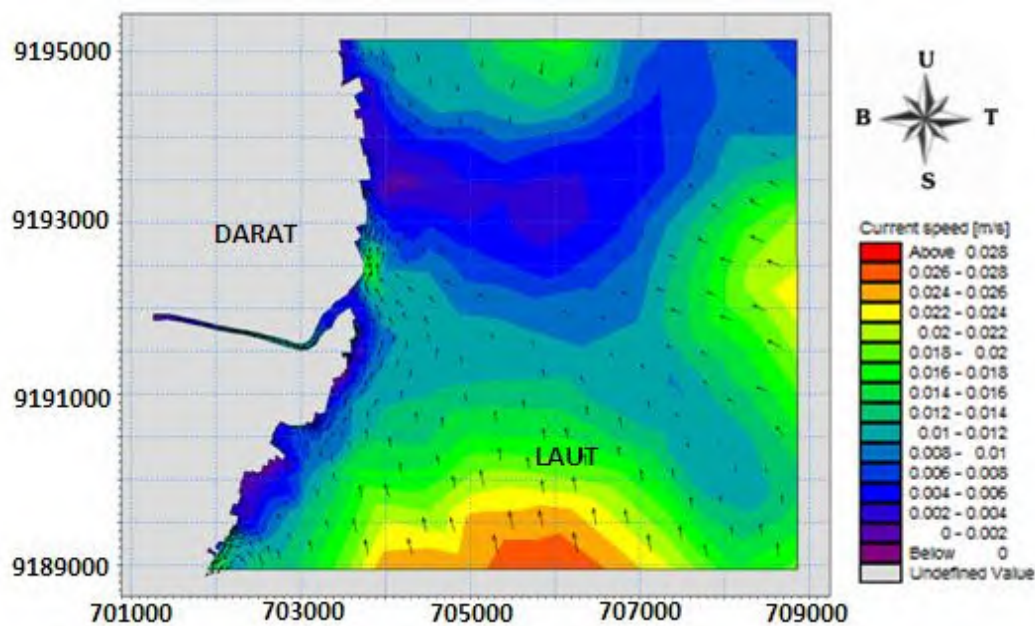
Tabel 4.9 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi
Tanpa Pasut Saat Surut Terendah

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.056 | 346 |
| 7 | 0.052 | 348 |
| 8 | 0.045 | 348 |
| 9 | 0.045 | 350 |
| 10 | 0.037 | 350 |
| Rata-rata | 0.047 | |

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa pada saat terjadi surut air laut, arus pada daerah muara menuju ke arah barat laut atau arus menuju ke muara sungai (Gambar 4.16) dengan kecepatan arus sebesar 0.047 m/s atau 4.7 cm/s.

4.4.2.4 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi dan Surut Terendah untuk Simulasi Tanpa Gelombang

Berikut adalah pola arus dari simulasi tanpa gelombang (debit sungai dan pasang surut) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

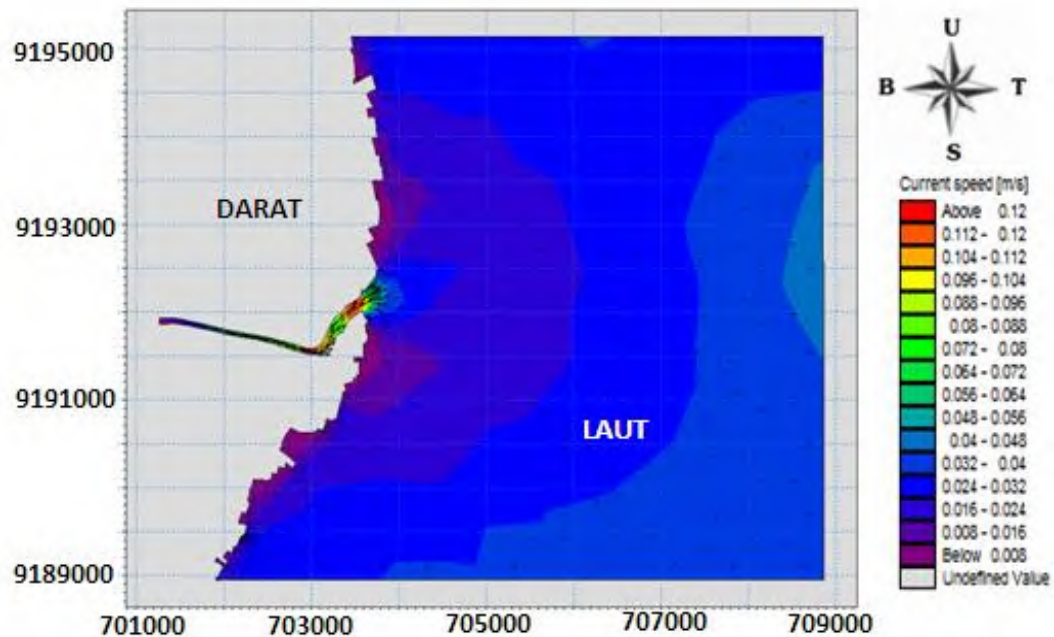


Gambar 4.17 Pola arus hasil simulasi tanpa gelombang saat pasang tertinggi
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.10 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi
Tanpa Gelombang Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.007 | 195 |
| 7 | 0.004 | 191 |
| 8 | 0.007 | 301 |
| 9 | 0.008 | 323 |
| 10 | 0.011 | 346 |
| Rata-rata | 0.008 | |

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa pada saat pasang air laut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah barat laut atau arus menuju ke muara sungai (Gambar 4.17) dengan kecepatan arus sebesar 0,008 m/s atau 0,8 cm/s.



Gambar 4.18 Pola arus hasil simulasi tanpa gelombang saat surut terendah
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.11 Analisa Pola Aliran Arus Pada Simulasi Tanpa Gelombang Saat Surut Terendah

| TITIK | KECEPATAN (m/s) | ARAH (rad) |
|-----------|-----------------|------------|
| 6 | 0.025 | 43 |
| 7 | 0.023 | 62 |
| 8 | 0.024 | 88 |
| 9 | 0.023 | 97 |
| 10 | 0.020 | 139 |
| Rata-rata | 0.023 | |

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa pada saat pasang air laut, arus pada daerah muara dominan menuju ke arah timur laut atau arus menjauhi muara sungai (Gambar 4.18) dengan kecepatan arus sebesar 0,023 m/s atau 2,3 cm/s.

4.5 Hasil Pemodelan Sebaran Sedimen

Hasil validasi hidrodinamik berupa validasi arus dan pasut, didapatkan hasil yang baik, maka selanjutnya dilakukan analisa pola penyebaran sedimen. Hasil dari simulasi penyebaran sedimen ini adalah pola sebaran sedimen pada saat terjadi pasang tertinggi dan surut terendah dan perubahan dasar. Pada simulasi transport sedimen dipilih modul *mud transport* karena hasil analisa sedimen menunjukkan bahwa dari 10 titik pengambilan sampel sedimen diperoleh dominan ukuran butir rata-rata sedimen (D50) pada badan sungai dan muara Kali Wonokromo adalah lanau (*silt*).

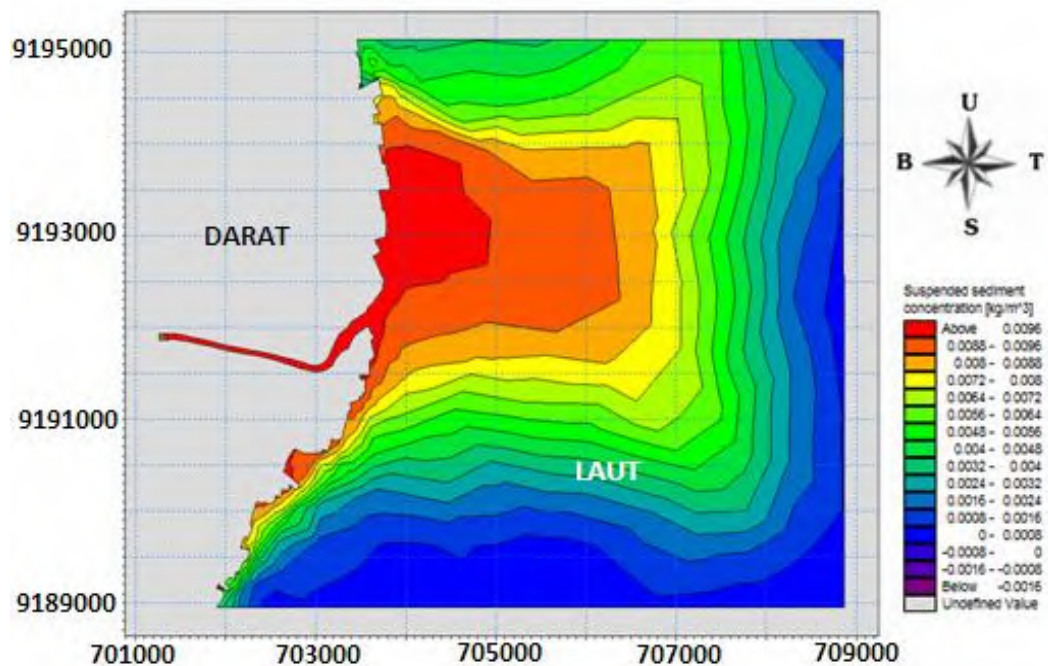
4.5.1 Analisa Pola Penyebaran Sedimen

Salah satu hasil simulasi penyebaran sedimen dari software Mike 21 adalah nilai konsentrasi sedimen (*suspended sediment concentration*). Sebaran sedimen sangat bergantung pada besarnya kecepatan dan pola arus pada perairan tersebut, karena itu dilakukan analisa pola penyebaran sedimen saat pasang tertinggi dan surut terendah. Analisa pola penyebaran sedimen hasil simulasi dilakukan pada 10 titik pengambilan sedimen.

Berikut adalah pola sebaran sedimen pada 10 titik pengamatan hasil simulasi pada saat pasang tertinggi dan surut terendah.

4.5.1.1 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Lengkap

Berikut adalah analisa pola penyebaran sedimen dari simulasi lengkap (debit sungai, pasang surut dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

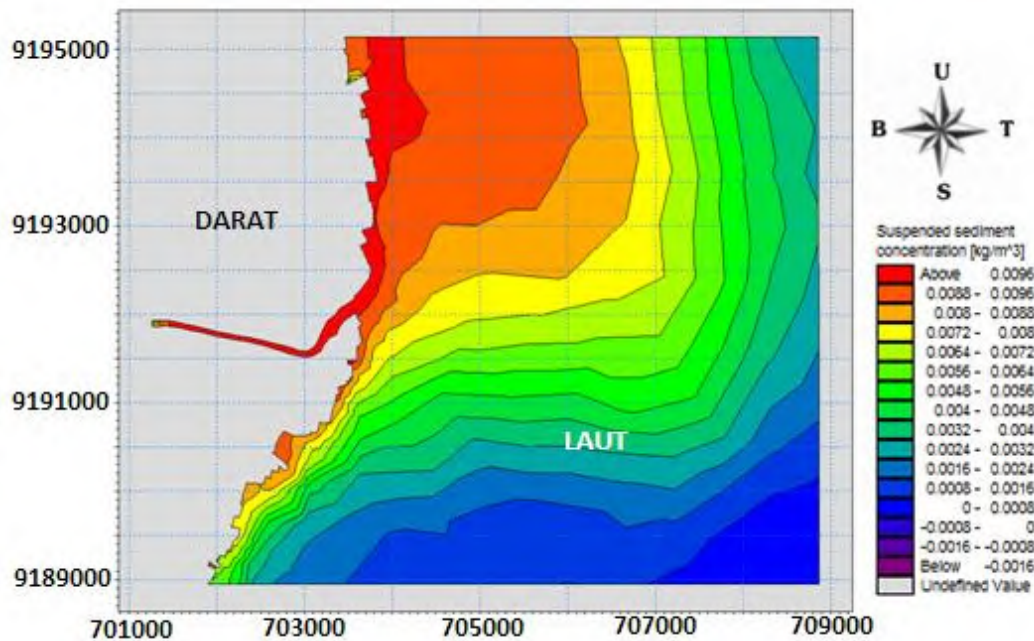


Gambar 4.19 Pola sebaran sedimen hasil simulasi lengkap saat pasang tertinggi
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.12 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Lengkap Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0100 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0098 |
| 5 | 0.0096 |
| 6 | 0.0081 |
| 7 | 0.0094 |
| 8 | 0.0091 |
| 9 | 0.0091 |
| 10 | 0.0071 |
| Rata-rata | 0.0092 |

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa saat terjadi pasang tertinggi besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0092 kg/m³ atau sebesar 9,2 gr/m³.



Gambar 4.20 Pola sebaran sedimen hasil simulasi lengkap saat surut terendah
(Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.13 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik
Pada Simulasi Lengkap Saat Surut Terendah

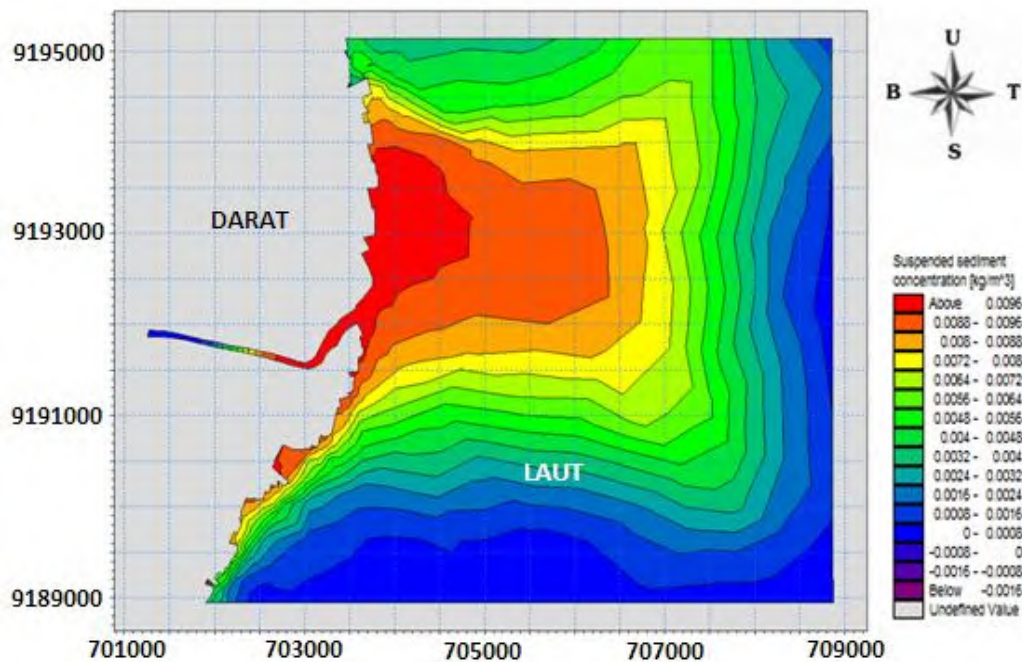
| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0098 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0099 |
| 5 | 0.0093 |
| 6 | 0.0091 |
| 7 | 0.0088 |
| 8 | 0.0077 |
| 9 | 0.0075 |
| 10 | 0.0059 |
| Rata-rata | 0.0088 |

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa pada saat surut terendah besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0088 kg/m³ atau sebesar 8,8 gr/m³. Hasil analisa pola sebaran sedimen saat pasang dan surut diatas menunjukkan bahwa sebaran sedimen dipengaruhi oleh pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Hasil analisa arus sebelumnya menunjukkan bahwa saat terjadi pasang tertinggi dimana

arus memasuki muara sungai sebesar 4,7 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen 9,2 gr/m³ kemudian saat terjadi surut terendah dimana arus menuju ke laut dengan kecepatan arus sebesar 3,8 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen sebesar 8,8 gr/m³, hal ini menunjukkan bahwa besarnya sedimen yang dibawa dari laut saat pasang tertahan dan mengendap di muara sungai demikian pula saat surut dimana sedimen dibawa secara maksimal dan mengendap di daerah muara sungai

4.5.1.2 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Debit

Berikut adalah analisa pola penyebaran sedimen dari simulasi tanpa debit (pasang surut dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

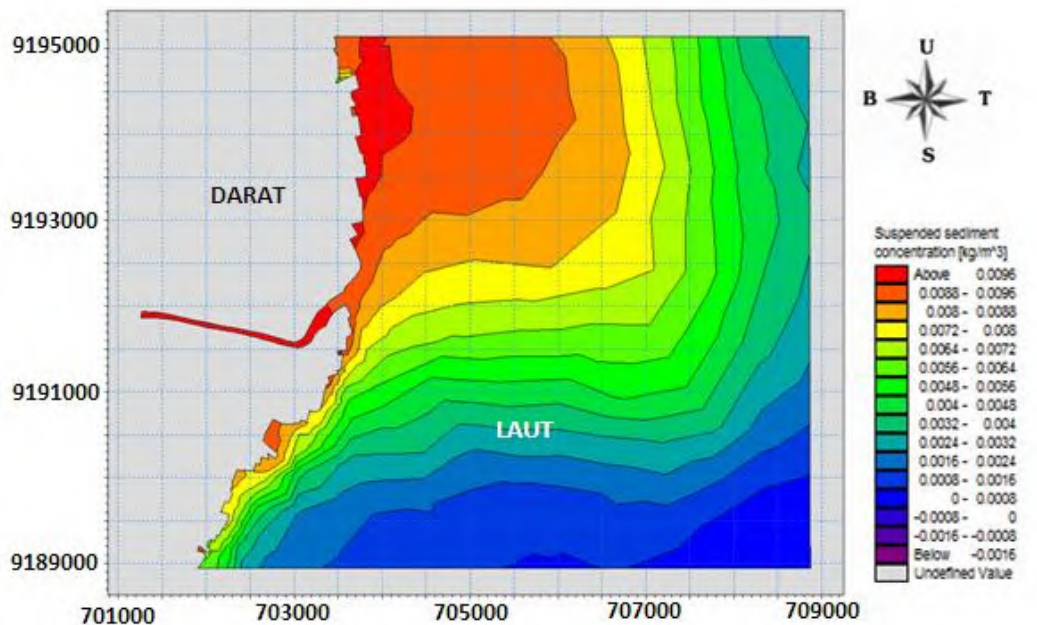


Gambar 4.21 Pola sebaran sedimen simulasi tanpa debit saat pasang tertinggi (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.14 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik
Pada Simulasi Tanpa Debit Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0001 |
| 2 | 0.0010 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0099 |
| 5 | 0.0097 |
| 6 | 0.0080 |
| 7 | 0.0093 |
| 8 | 0.0091 |
| 9 | 0.0090 |
| 10 | 0.0071 |
| Rata-rata | 0.0073 |

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa saat pasang tertinggi besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0073 kg/m³ atau sebesar 7,3 gr/m³.



Gambar 4.22 Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa debit saat surut terendah
(Sumber : Software MIKE 21)

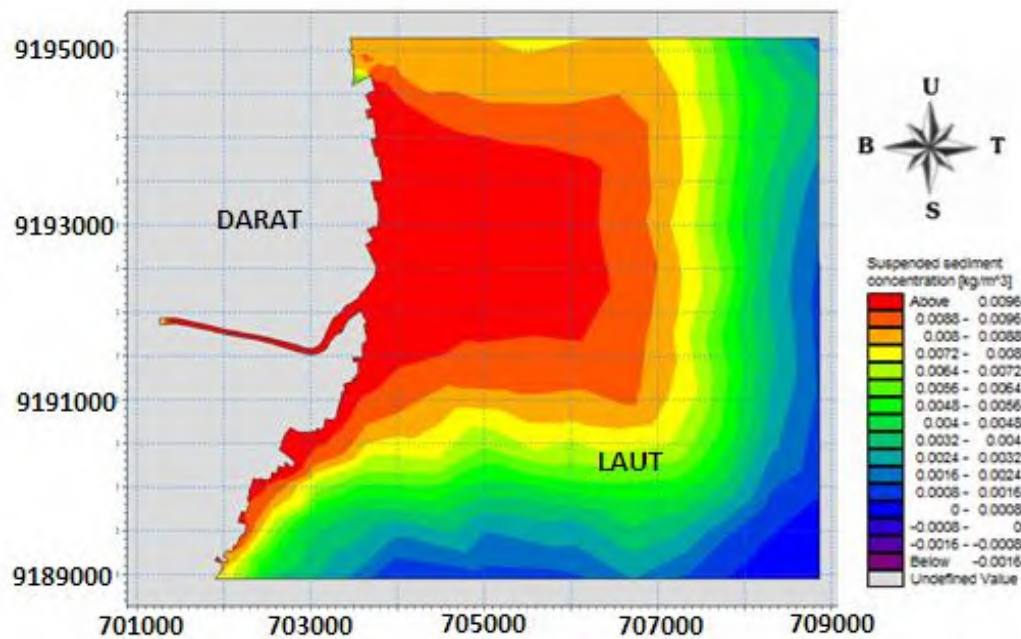
Tabel 4.15 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Debit Saat Surut Terendah

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0100 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0099 |
| 4 | 0.0093 |
| 5 | 0.0087 |
| 6 | 0.0090 |
| 7 | 0.0088 |
| 8 | 0.0076 |
| 9 | 0.0074 |
| 10 | 0.0057 |
| Rata-rata | 0.0086 |

Tabel 4.15 menunjukkan bahwa saat surut terendah besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0086 kg/m³ atau sebesar 8,6 gr/m³. Dari hasil analisa pola sebaran sedimen saat pasang dan surut diatas diperoleh bahwa sebaran sedimen dipengaruhi oleh pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Hasil analisa arus sebelumnya menunjukkan bahwa saat terjadi pasang tertinggi dimana arus memasuki muara sungai sebesar 4,7 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen 7,3 gr/m³ kemudian saat terjadi surut terendah dimana arus menuju ke laut dengan kecepatan arus sebesar 3,7 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen sebesar 8,6 gr/m³, hal ini menunjukkan bahwa besarnya sedimen yang dibawa dari laut saat pasang tertahan dan mengendap di muara sungai demikian pula saat surut dimana sedimen dibawa secara maksimal dan mengendap di daerah muara sungai.

4.5.1.3 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Pasut

Berikut adalah analisa pola penyebaran sedimen dari simulasi tanpa pasut (debit sungai dan gelombang) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

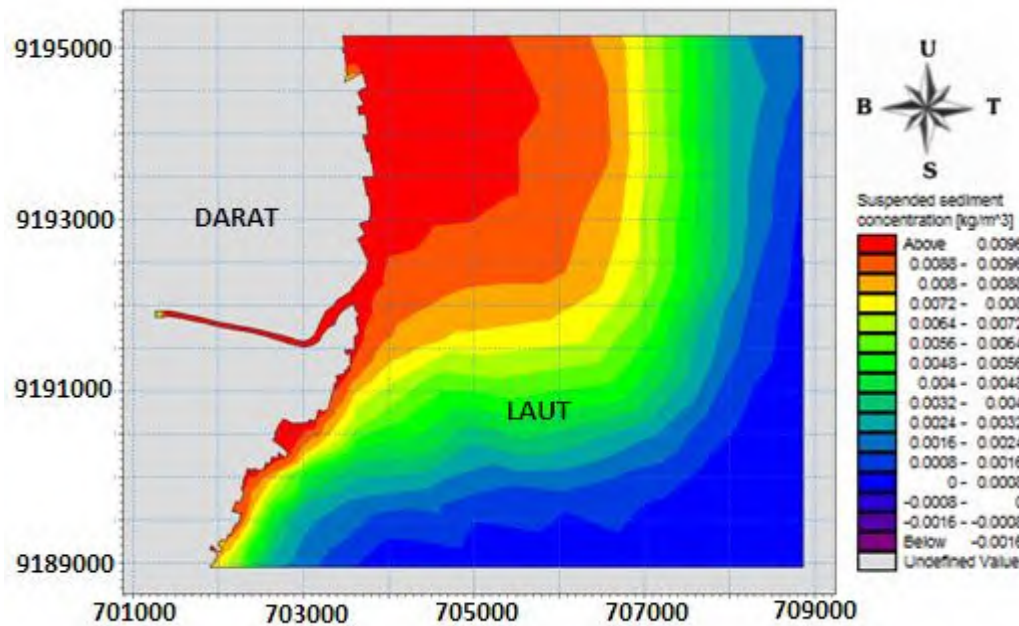


Gambar 4.23 Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa pasut saat pasang tertinggi (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.16 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0100 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0100 |
| 5 | 0.0100 |
| 6 | 0.0096 |
| 7 | 0.0099 |
| 8 | 0.0098 |
| 9 | 0.0099 |
| 10 | 0.0093 |
| Rata-rata | 0.0098 |

Tabel 4.16 menunjukkan bahwa saat pasang tertinggi besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0098 kg/m³ atau sebesar 9,8 gr/m³.



Gambar 4.24 Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa pasut saat surut terendah (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.17 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Pasut Saat Surut Terendah

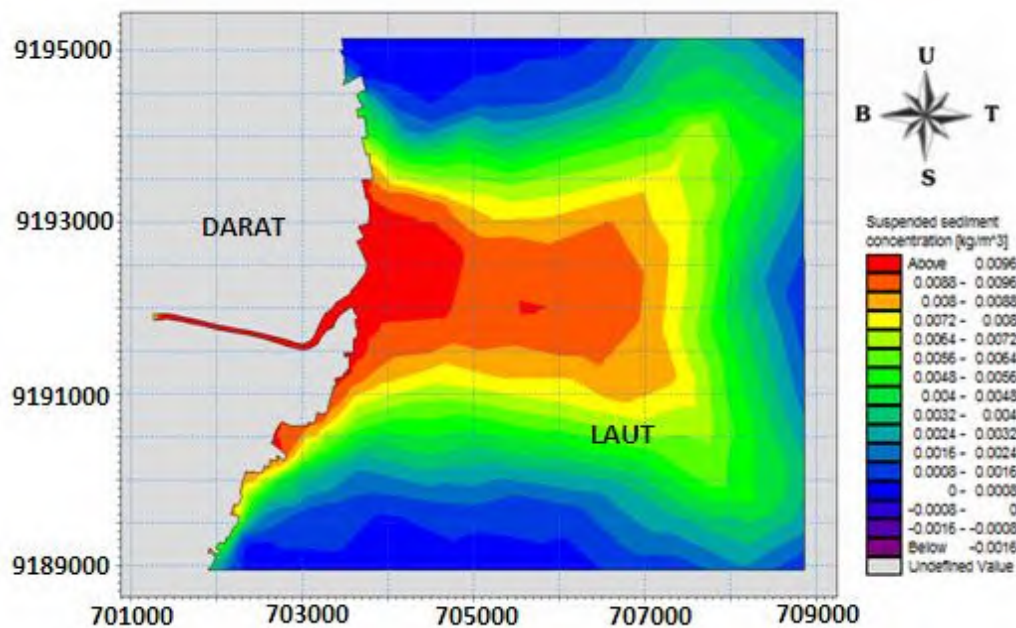
| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0100 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0099 |
| 5 | 0.0096 |
| 6 | 0.0096 |
| 7 | 0.0096 |
| 8 | 0.0087 |
| 9 | 0.0087 |
| 10 | 0.0073 |
| Rata-rata | 0.0093 |

Tabel 4.17 menunjukkan bahwa saat surut terendah besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0093 kg/m³ atau sebesar 9,3 gr/m³. Hasil analisa pola sebaran sedimen saat pasang dan surut diatas diperoleh bahwa sebaran sedimen dipengaruhi oleh pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Hasil analisa arus sebelumnya menunjukkan bahwa saat terjadi pasang tertinggi dimana arus

memasuki muara sungai sebesar 4,3 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen 9,8 gr/m³ kemudian saat terjadi surut terendah dimana arus menuju ke laut dengan kecepatan arus sebesar 4,7 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen sebesar 9,3 gr/m³, hal ini menunjukkan bahwa besarnya sedimen yang dibawa dari laut saat pasang tertahan dan mengendap di muara sungai demikian pula saat surut dimana sedimen dibawa secara maksimal dan mengendap di daerah muara sungai

4.5.1.4 Analisa Pola Penyebaran Sedimen Hasil Simulasi Tanpa Gelombang

Berikut adalah analisa pola penyebaran sedimen dari simulasi tanpa gelombang (debit sungai dan pasang surut) saat pasang tertinggi dan surut terendah.

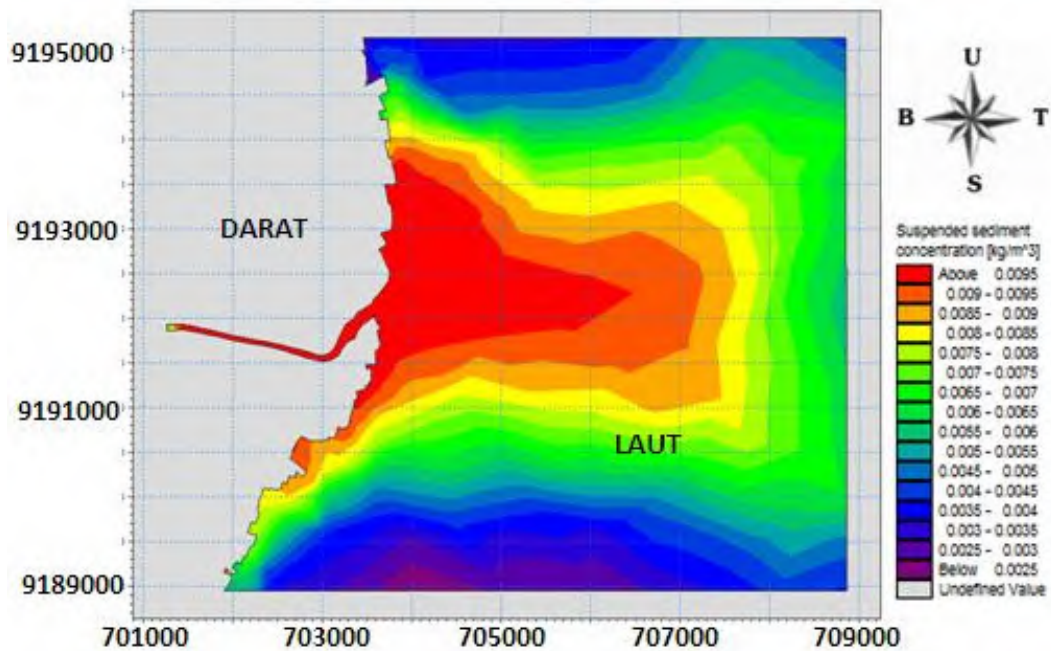


Gambar 4.25 Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa gelombang saat pasang tertinggi (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.18 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Gelombang Saat Pasang Tertinggi

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0100 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0099 |
| 5 | 0.0099 |
| 6 | 0.0038 |
| 7 | 0.0076 |
| 8 | 0.0096 |
| 9 | 0.0096 |
| 10 | 0.0085 |
| Rata-rata | 0.0089 |

Tabel 4.18 menunjukkan bahwa saat pasang tertinggi besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0089 kg/m³ atau sebesar 8,9 gr/m³.



Gambar 4.26 Pola sebaran sedimen hasil simulasi tanpa gelombang saat surut terendah (Sumber : Software MIKE 21)

Tabel 4.19 Konsentrasi Sedimen pada 10 Titik Pada Simulasi Tanpa Gelombang Saat Surut Terendah

| TITIK | KONSENTRASI SEDIMEN (kg/m ³) |
|-----------|--|
| 1 | 0.0099 |
| 2 | 0.0100 |
| 3 | 0.0100 |
| 4 | 0.0100 |
| 5 | 0.0099 |
| 6 | 0.0070 |
| 7 | 0.0087 |
| 8 | 0.0096 |
| 9 | 0.0096 |
| 10 | 0.0089 |
| Rata-rata | 0.0094 |

Tabel 4.19 menunjukkan bahwa pada saat surut terendah besarnya nilai konsentrasi sedimen yaitu 0,0094 kg/m³ atau sebesar 9,4 gr/m³. Hasil dari analisa pola sebaran sedimen saat pasang dan surut diatas diperoleh bahwa sebaran sedimen dipengaruhi oleh pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut. Hasil analisa arus sebelumnya menunjukkan bahwa saat terjadi pasang tertinggi dimana arus memasuki muara sungai sebesar 0,8 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen 8,9 gr/m³ kemudian saat terjadi surut terendah dimana arus menuju ke laut dengan kecepatan arus sebesar 2,3 cm/s dengan nilai konsentrasi sedimen sebesar 9,4 gr/m³, hal ini menunjukkan bahwa besarnya sedimen yang dibawa dari laut saat pasang tertahan dan mengendap di muara sungai demikian pula saat surut dimana sedimen dibawa secara maksimal dan mengendap di daerah muara sungai.

4.5.2 Analisa Perubahan Morfologi Dasar Perairan

Analisa perubahan morfologi dasar perairan dilakukan pada sungai dan laut berdasarkan hasil simulasi Mike 21 (*total bed thickness change*) dengan melibatkan pengaruh debit sungai, gelombang dan pasang surut (simulasi lengkap) dan simulasi dengan menghilangkan salah satu faktor tersebut baik debit (simulasi tanpa debit), pasang surut (simulasi tanpa pasut) dan gelombang (simulasi tanpa gelombang) yang menghasilkan elevasi baru dan kemudian

dibandingkan dengan bathimetri sebelum simulasi. Gambar bathimetri awal tiap luasan sungai dan laut disajikan pada Lampiran 3. Analisa perubahan morfologi pada sungai, masing-masing luasan berjarak 500 meter sedangkan untuk analisa perubahan morfologi laut untuk luasan 1 dan luasan 2 sejauh 4500 m dan luasan 3 sejauh 5000 m. Perubahan morfologi tiap luasan sungai dan laut dianalisa berdasarkan hasil simulasi lengkap, tanpa debit, tanpa pasut dan tanpa gelombang. Koordinat luasan daerah sungai dan laut tersebut yaitu :

Tabel 4.20 Koordinat Luasan Garis Analisa Pemodelan Bed Level Dalam Satuan UTM

| Luasan | Koordinat A | | Koordinat B | | Koordinat C | | Koordinat D | |
|----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | X | Y | X | Y | X | Y | X | Y |
| Sungai 1 | 701436.3 | 9191930 | 701994.6 | 9191805.0 | 701994.6 | 9191759.7 | 701436.3 | 9191865.3 |
| Sungai 2 | 701994.6 | 9191805.0 | 702549.7 | 9191697.0 | 702549.7 | 9191641.9 | 701994.6 | 9191759.0 |
| Sungai 3 | 702549.8 | 9191642 | 703152.9 | 9191698.0 | 703200.3 | 9191606.5 | 702549.6 | 9191641.9 |
| Sungai 4 | 703152.9 | 9191698 | 703703.5 | 9192256.0 | 703767.4 | 9192148.5 | 703203.5 | 9191613.9 |
| Laut 1 | 703709.4 | 9193489 | 708856.9 | 9193489.0 | 708856.9 | 9192498.6 | 703768.2 | 9192498.6 |
| Laut 2 | 703768.2 | 9192499 | 708847.1 | 9192499.0 | 708856.9 | 9191498.6 | 703768.2 | 9191508.4 |
| Laut 3 | 703611.3 | 9191518 | 708837.3 | 9191528.0 | 708856.9 | 9190508.3 | 703611.3 | 9190498.5 |

Tabel 4.20 adalah koordinat luasan wilayah untuk menganalisa perubahan kedalaman. Gambar luasan sungai 1 sampai sungai 4 dan laut 1 sampai laut 3 disajikan pada Lampiran 4.

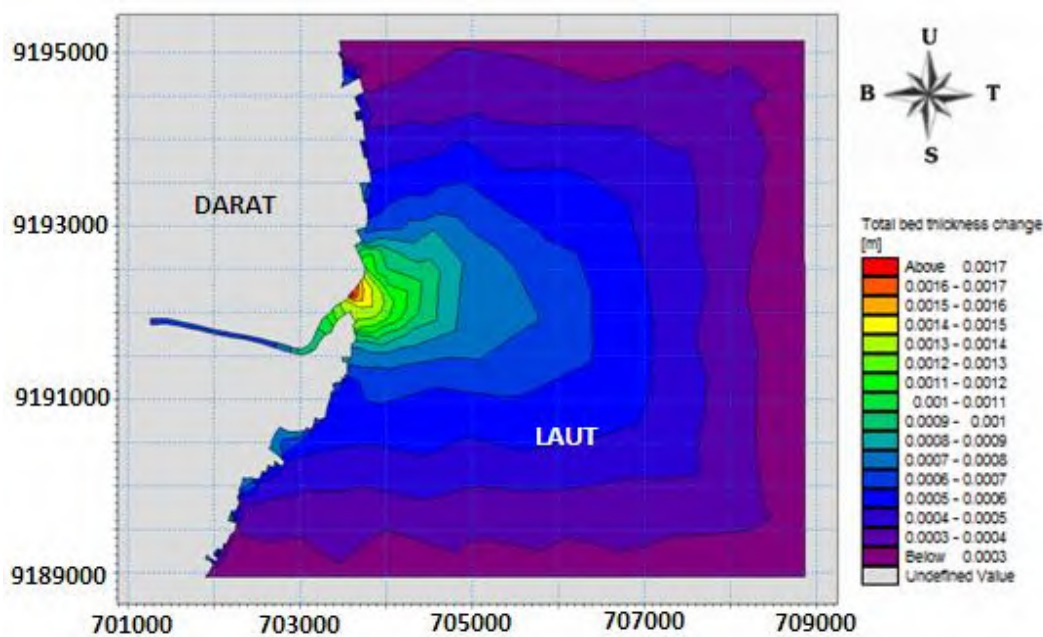
Perubahan morfologi dasar Perairan dapat berubah karena adanya proses sedimentasi atau pendangkalan. Sedimentasi atau pendangkalan terbentuk karena adanya pergerakan arus, gelombang dan pasang surut yang selalu terjadi terus menerus. Pada studi ini dilakukan pengamatan perubahan profil dasar perairan yang dilakukan di muara dan badan sungai tempat dimana dilakukan pengambilan sampel sedimen. Dari nilai akhir simulasi *total bed thickness change* yaitu step 4320 dari tiap simulasi, didapatkan perubahan dasar perairan di lokasi tersebut. Perubahan profil dasar perairan hasil simulasi Mike 21 dianalisa dengan menggunakan Surfer 12. Analisa perubahan permukaan dasar pada luasan pengambilan sampel sedimen dilakukan guna mengetahui perubahan elevasi

sebelum dan sesudah simulasi serta mengetahui besarnya volume sedimen (*net volume*) pada luasan tersebut dengan metode integrasi volume *cut and fill* menggunakan Surfer 12. Analisa ini juga dilakukan untuk simulasi lengkap, tanpa debit, tanpa pasut dan tanpa gelombang.

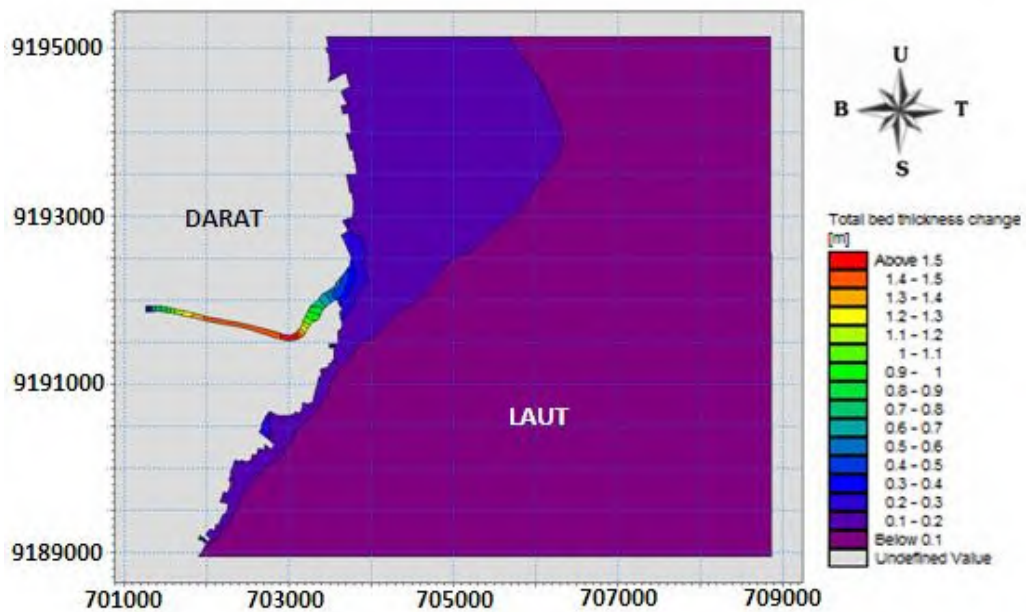
Berikut ini adalah perubahan profil dasar Perairan di sekitar sungai dan laut dari simulasi lengkap, tanpa debit, tanpa pasut dan tanpa gelombang.

4.5.2.1 Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Lengkap

Analisa perubahan morfologi dari hasil akhir simulasi *total bed thickness change* untuk simulasi lengkap pada sungai dan laut. Berikut adalah gambar perbandingan perubahan *bed level* awal dan akhir simulasi lengkap.

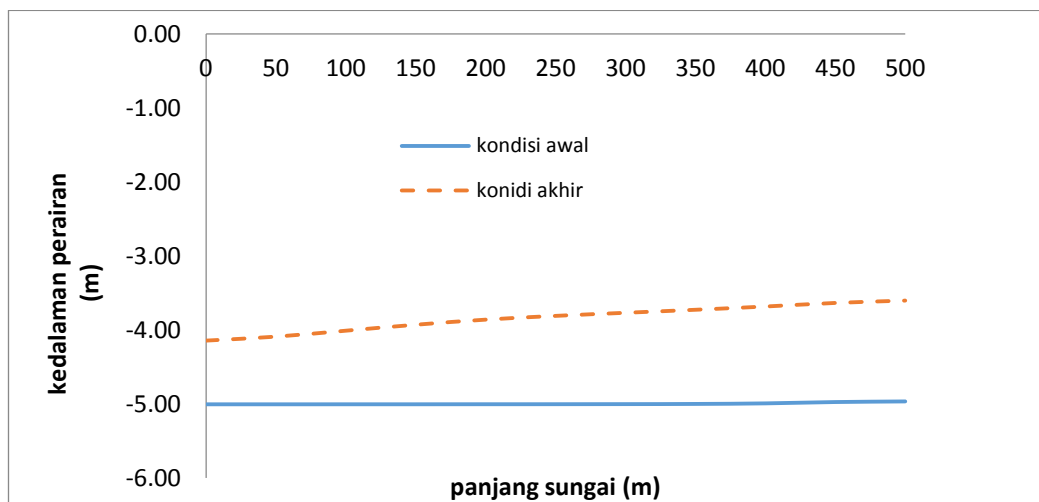


Gambar 4.27 Hasil simulasi lengkap bed level time step 0
(Sumber : Software MIKE 21)



Gambar 4.28 Hasil simulasi lengkap bed level time step 4320
(Sumber : Software MIKE 21)

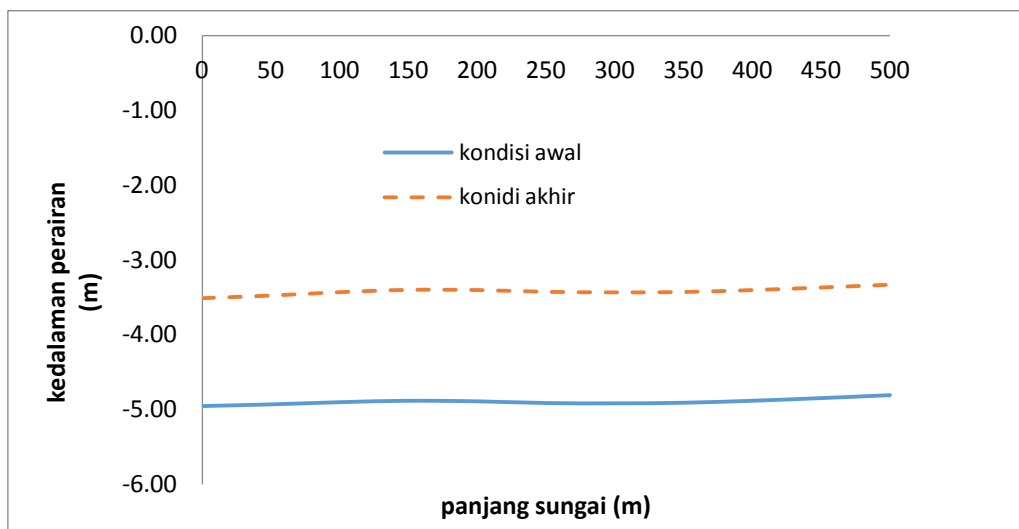
Perubahan kedalaman perairan untuk luasan sungai 1 sampai luasan laut 3 untuk simulasi lengkap adalah seperti dibawah ini :



Gambar 4.29 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1

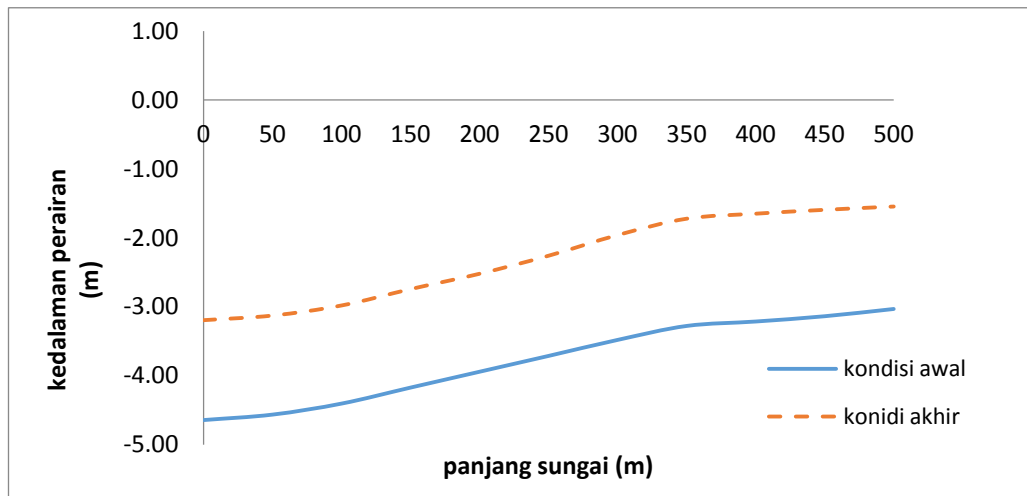
Gambar 4.29 menunjukkan terjadinya perubahan kedalaman pada luasan sungai 1. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,96 meter sampai 5,00 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah

pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,86 meter sampai 1,36 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 3,60 meter sampai 4,14 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 77.402,70 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



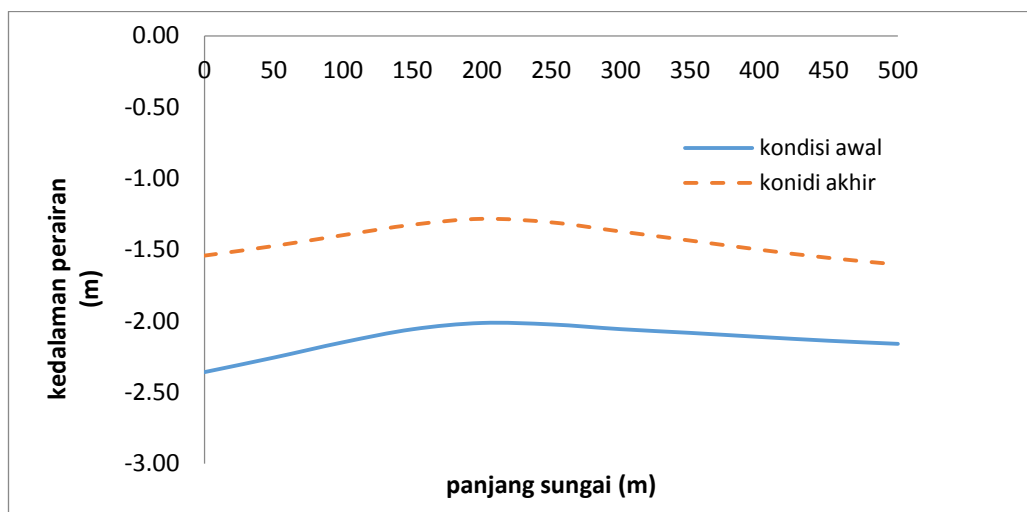
Gambar 4.30 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2

Gambar 4.30 menunjukkan bahwa terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 2. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,81 meter sampai 4,95 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,44 meter sampai 1,47 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 3,33 meter sampai 3,51 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 101.323,88 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



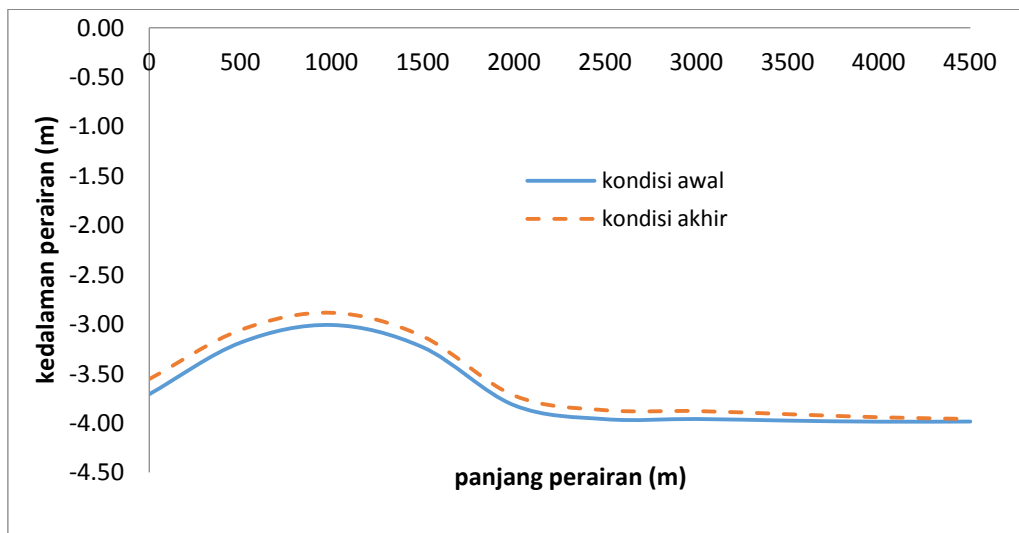
Gambar 4.31 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3

Gambar 4.31 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 3. Mula-mula kedalaman sungai adalah 3,03 meter sampai 4,64 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,42 meter sampai 1,57 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 1,54 meter sampai 3,19 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 91.023,70 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



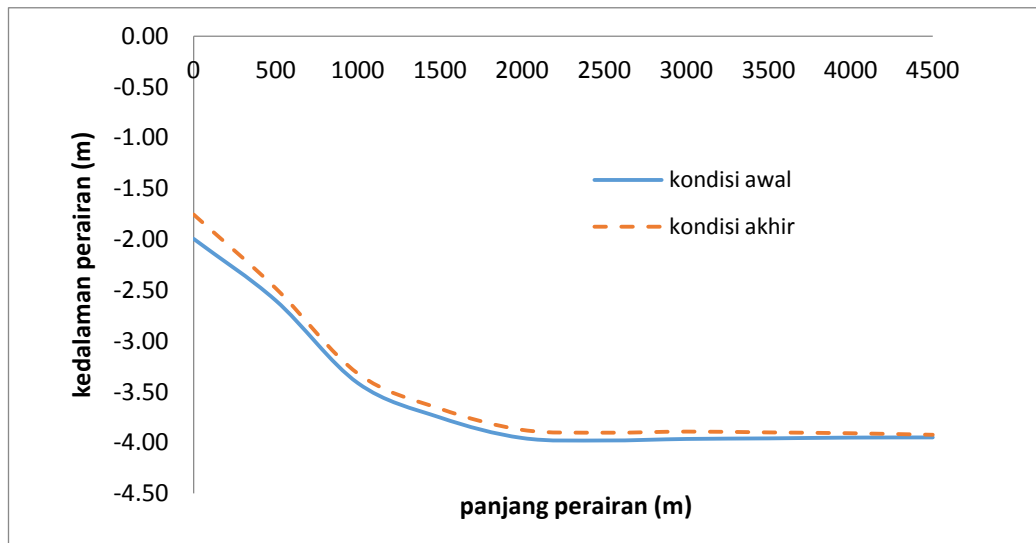
Gambar 4.32 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4

Gambar 4.32 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 4. Mula-mula kedalaman sungai adalah 2,01 meter sampai 2,36 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,56 meter sampai 0,81 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 1,28 meter sampai 1,60 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 191.174,25 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 4 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



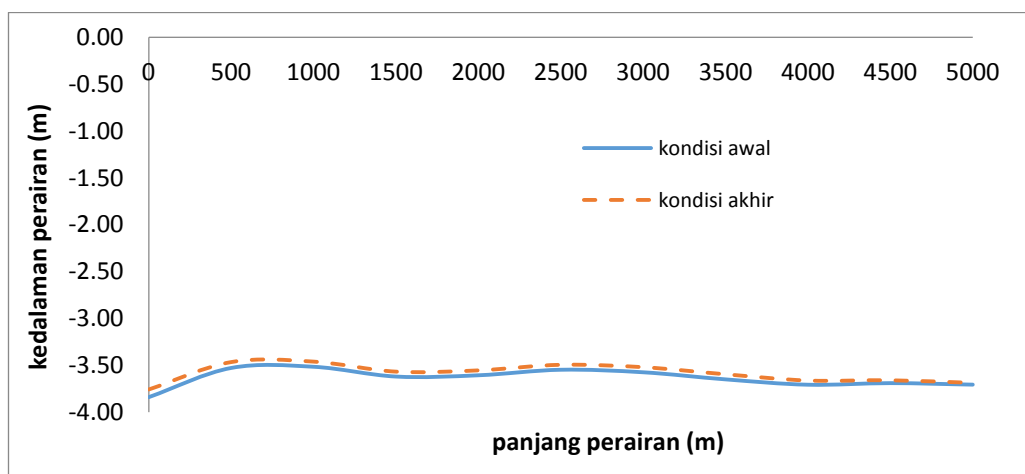
Gambar 4.33 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1

Gambar 4.33 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 1. Kedalaman awal laut adalah 3,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,08 meter sampai 0,31 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 2,7 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 822.175,61 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4.34 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2

Gambar 4.34 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 2. Mula-mula kedalaman laut adalah 2,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,06 meter sampai 0,49 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 1,5 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 705. 689,44 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 4 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

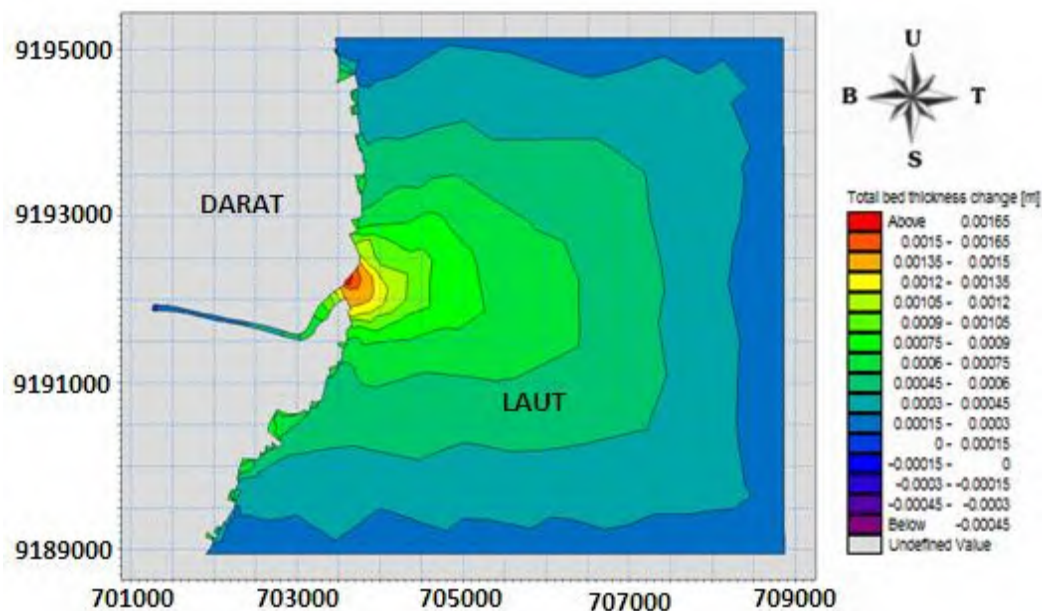


Gambar 4.35 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3

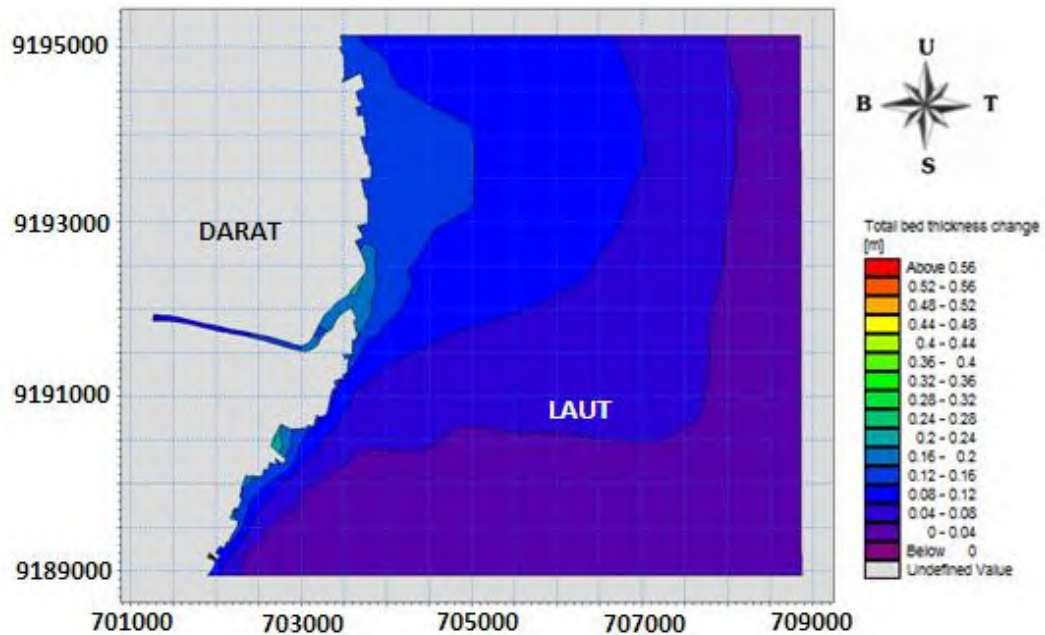
Gambar 4.35 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 3. Mula-mula kedalaman laut adalah 3,5 meter sampai 3,8 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai, pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,05 meter sampai 0,25 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 3,3 meter sampai 3,6 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 565.037,88 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.5.2.2 Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Debit

Analisa perubahan morfologi dari hasil akhir simulasi *total bed thickness change* untuk simulasi tanpa debit pada sungai dan laut. Berikut adalah gambar perbandingan perubahan *bed level* awal dan akhir simulasi tanpa debit.

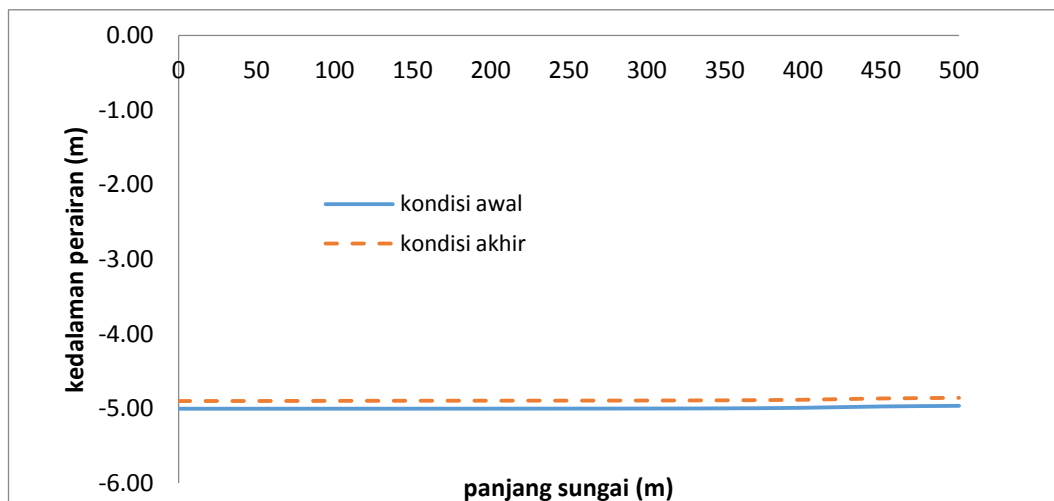


Gambar 4.36 Hasil simulasi tanpa debit bed level time step 0
(Sumber : Software MIKE 21)



Gambar 4.37 Hasil simulasi tanpa debit bed level time step 4320
(Sumber : Software MIKE 21)

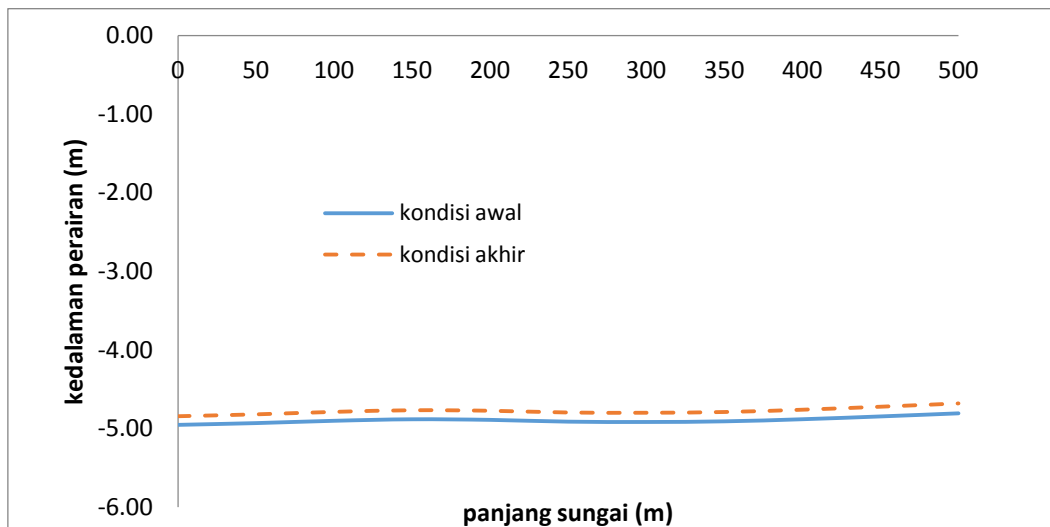
Perubahan kedalaman perairan untuk luasan sungai 1 sampai laut 3 untuk simulasi tanpa debit adalah seperti dibawah ini :



Gambar 4.38 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1

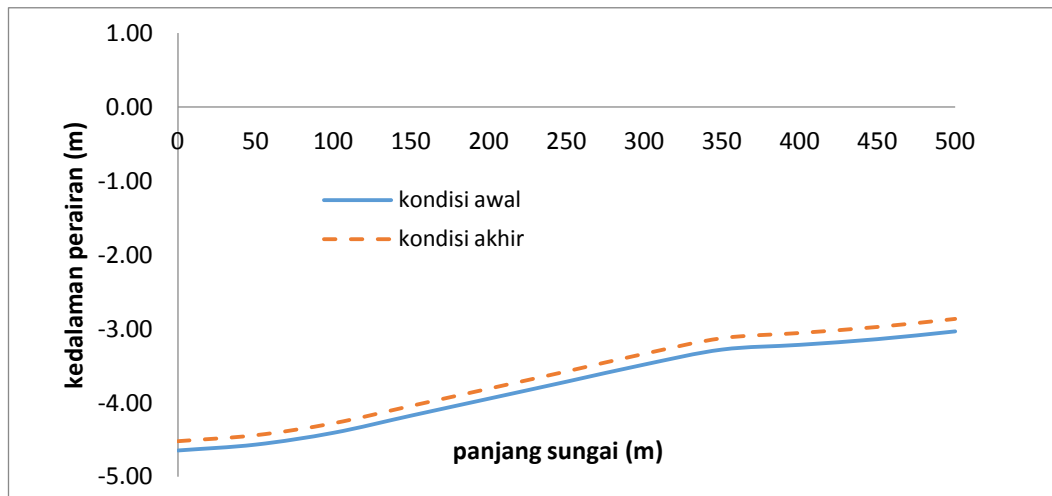
Gambar 4.38 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 1. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,96 meter sampai 5,00 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah

pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,101 meter sampai 1,108 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 4,86 meter sampai 4,90 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 6.940,6 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



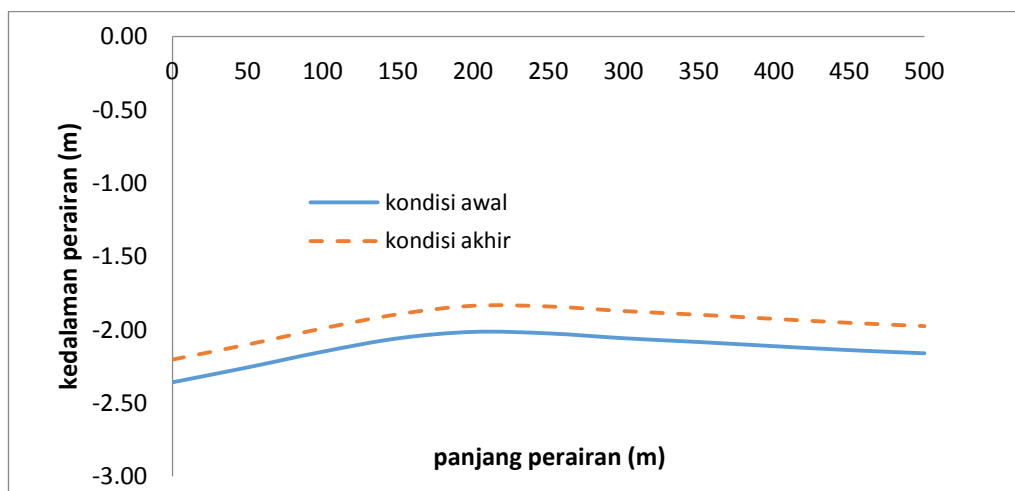
Gambar 4.39 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2

Gambar 4.39 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 2. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,81 meter sampai 4,95 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,11 meter sampai 0,12 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 4,68 meter sampai 4,84 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 8.015,9 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



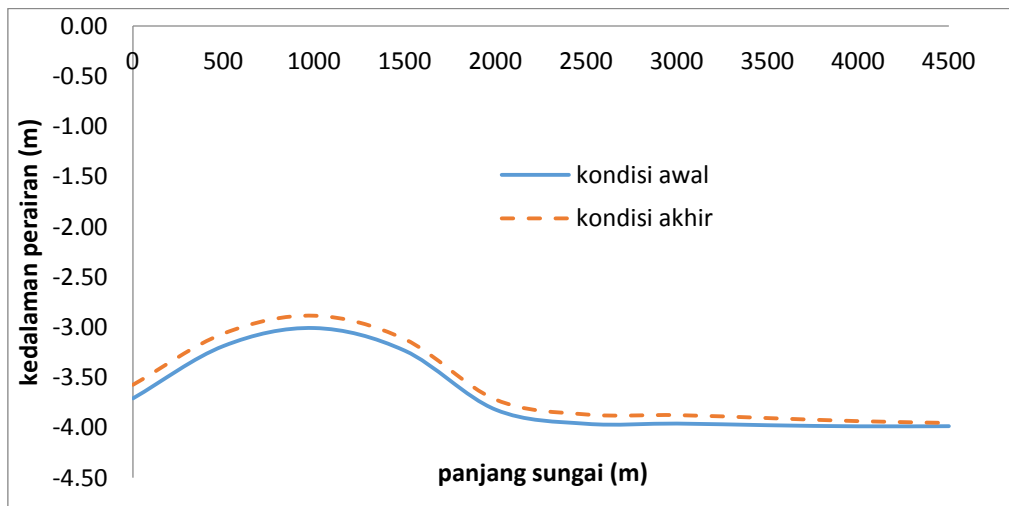
Gambar 4.40 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3

Gambar 4.40 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 3. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,64 meter sampai 3,03 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,16 meter sampai 1,57 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 1,54 meter sampai 0,12 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $11.422,6 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



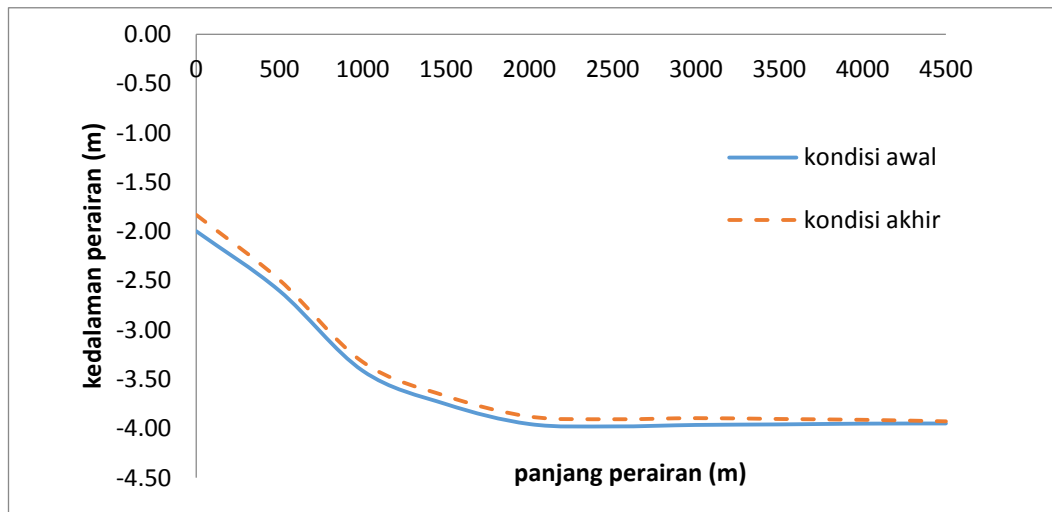
Gambar 4.41 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4

Gambar 4.41 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 4. Mula-mula kedalaman sungai adalah 2,01 meter sampai 2,36 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,15 meter sampai 0,18 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 1,98 meter sampai 2,20 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 51.390,7 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 4 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



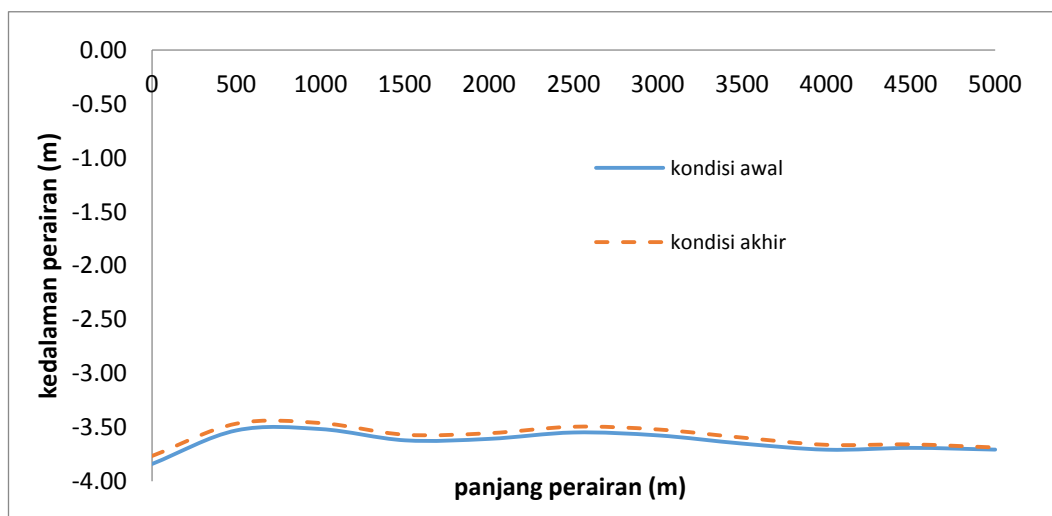
Gambar 4.42 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1

Gambar 4.42 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 1. Kedalaman awal laut adalah 3,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,03 meter sampai 0,14 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 2,9 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 421.443,2 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4.43 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2

Gambar 4.43 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 2. Mula-mula kedalaman laut adalah 2,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,02 meter sampai 0,17 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 1,8 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $342.890,2 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan laut 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

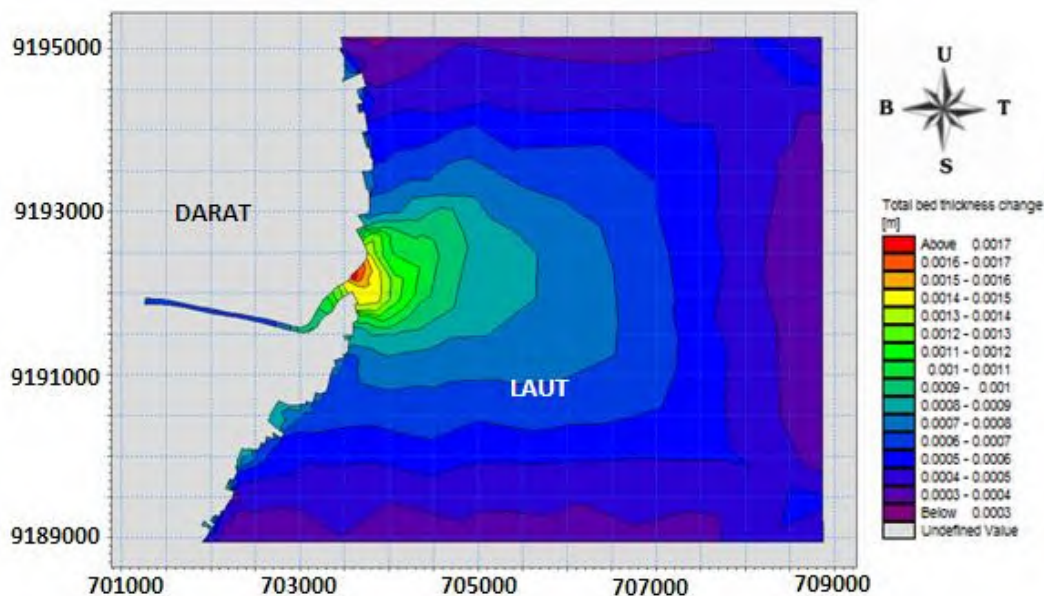


Gambar 4.44 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3

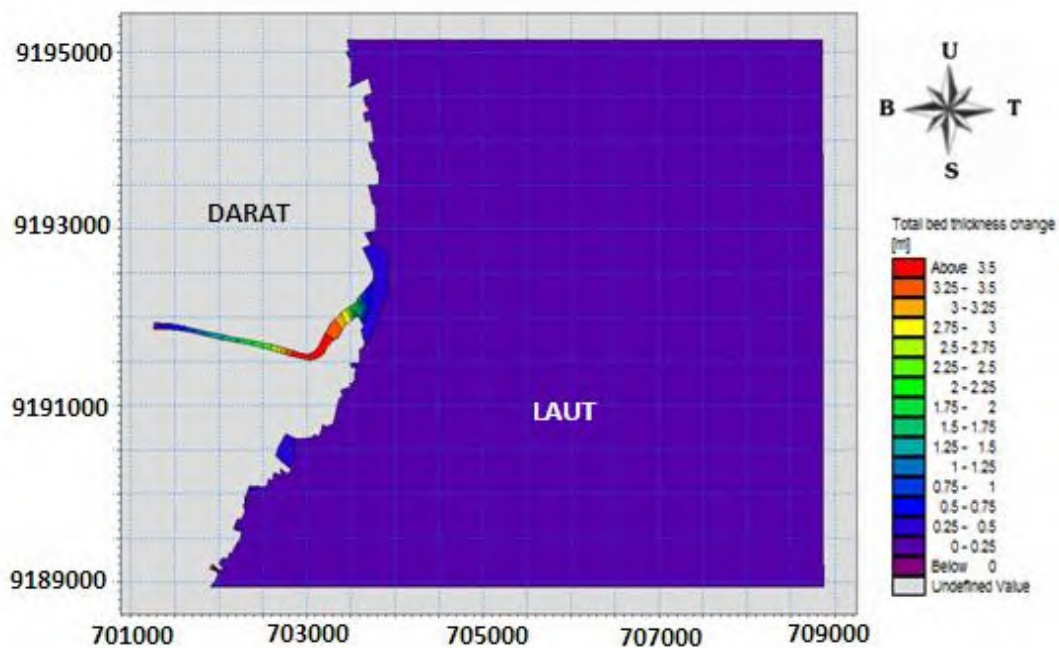
Gambar 4.44 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 3. Mula-mula kedalaman laut adalah 3,5 meter sampai 3,8 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh pasang surut dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,02 meter sampai 0,07 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 3,4 meter sampai 3,7 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 256.578,5 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.5.2.3 Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Pasut

Analisa perubahan morfologi dari hasil akhir simulasi *total bed thickness change* untuk simulasi tanpa pasut pada sungai dan laut. Berikut adalah gambar perbandingan perubahan *bed level* awal dan akhir simulasi non pasut.

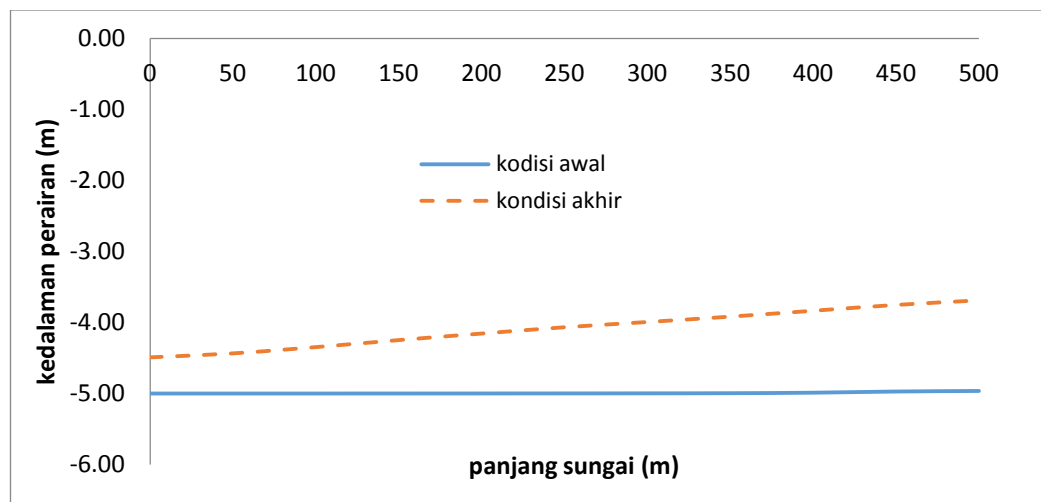


Gambar 4.45 Hasil simulasi tanpa pasut bed level time step 0
(Sumber : Software MIKE 21)



Gambar 4.46 Hasil simulasi tanpa pasut bed level time step 4320
(Sumber : Software MIKE 21)

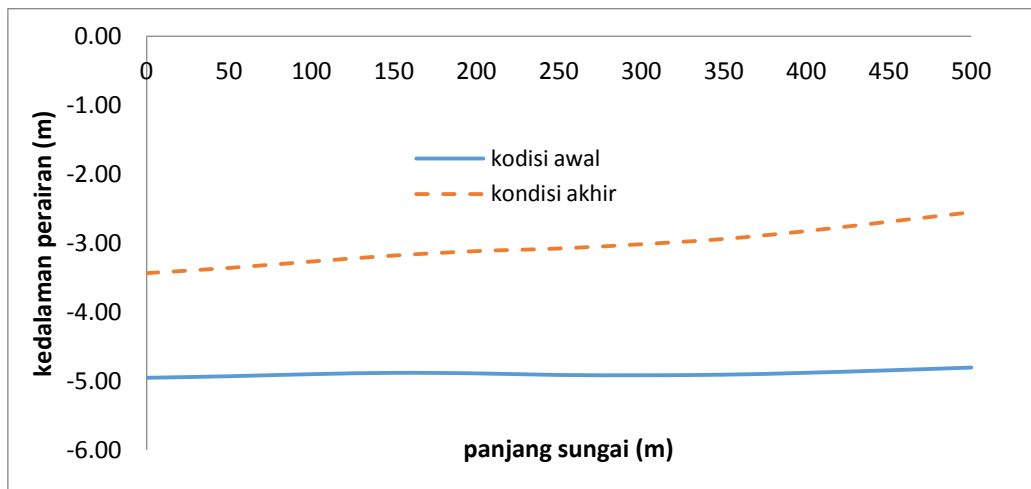
Perubahan kedalaman perairan untuk luasan sungai 1 sampai luasan laut 3 untuk simulasi tanpa pasut adalah seperti dibawah ini :



Gambar 4.47 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1

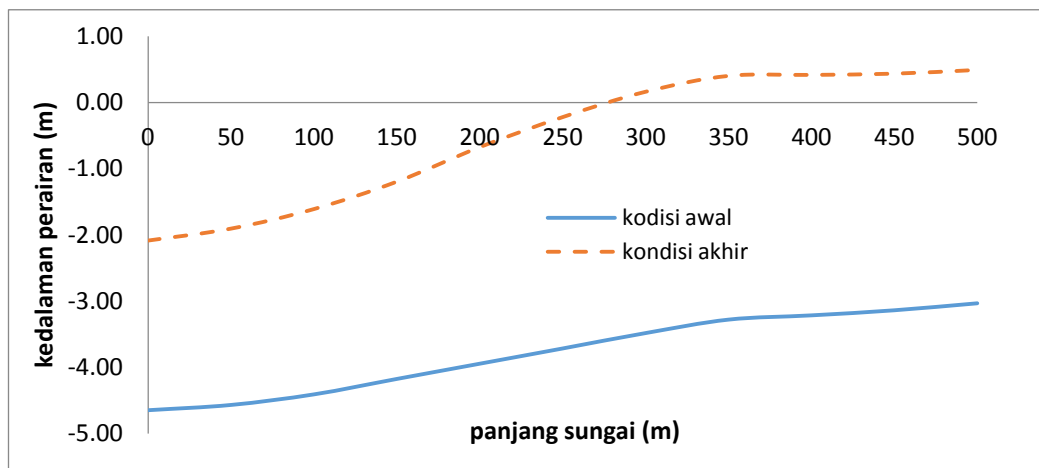
Gambar 4.47 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 1. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,96 meter sampai 5,00 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah

pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,51 meter sampai 1,27 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 3,7 meter sampai 4,5 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 61.842,7 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



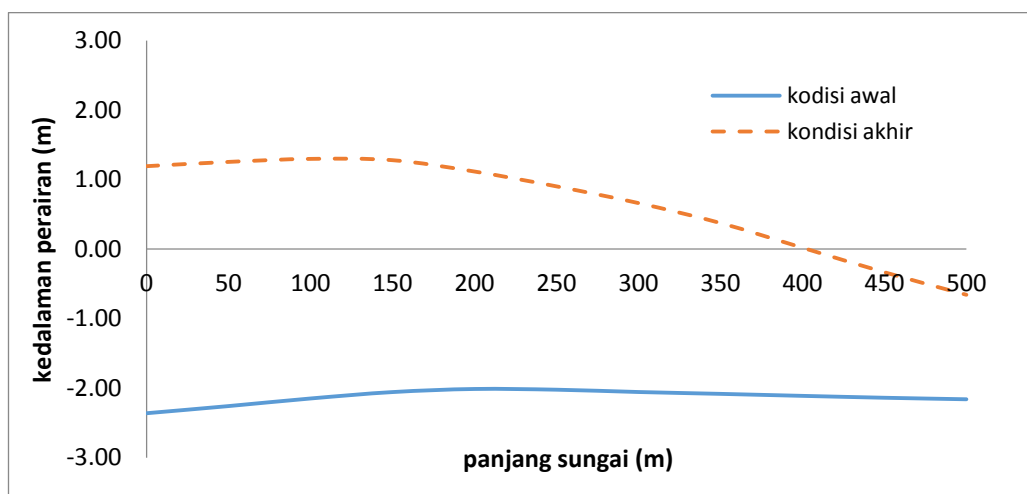
Gambar 4.48 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2

Gambar 4.48 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 2. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,81 meter sampai 4,95 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,52 meter sampai 2,25 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 2,5 meter sampai 3,4 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 108.721,8 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



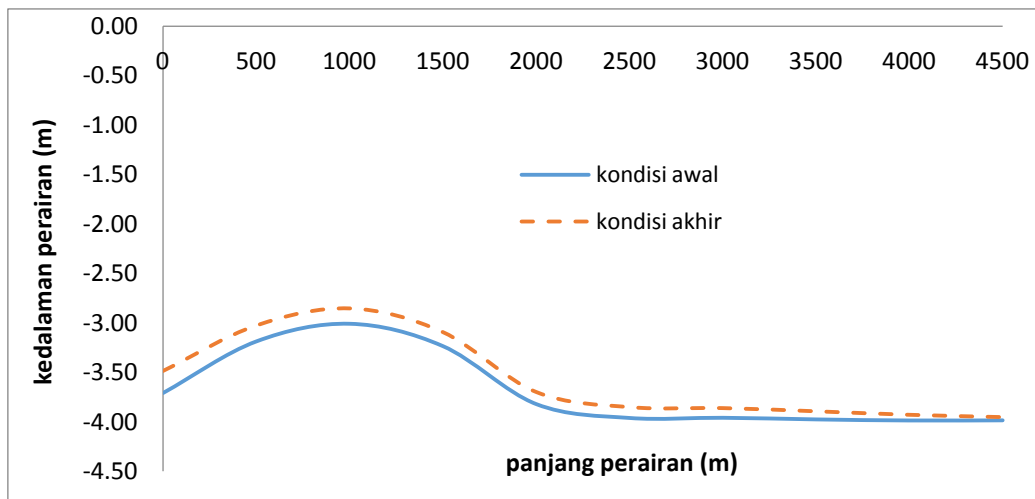
Gambar 4.49 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3

Gambar 4.49 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 3. Mula-mula kedalaman sungai adalah 3,03 meter sampai 4,64 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 2,56 meter sampai 3,68 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 2,09 meter dibawah permukaan laut sampai 0,49 meter diatas permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $258.369,3 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



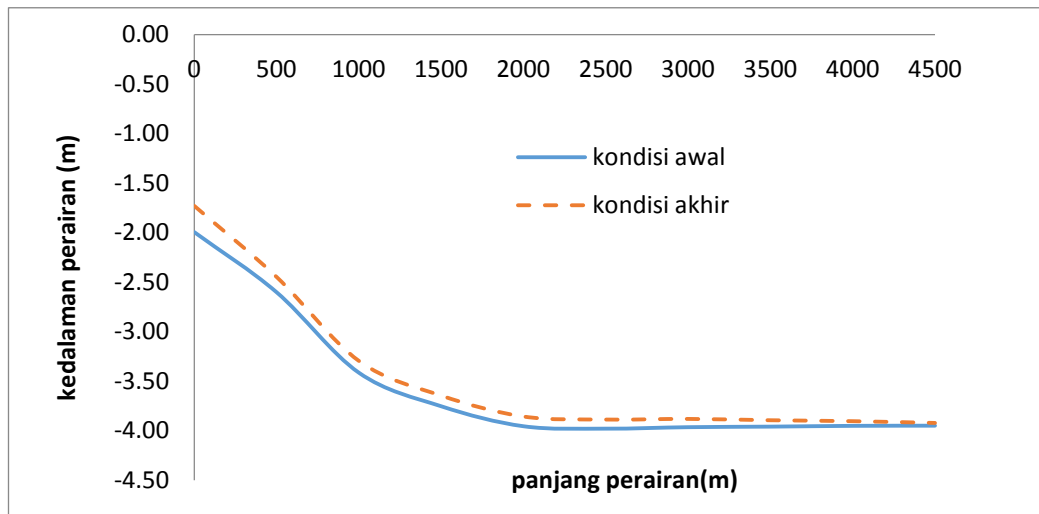
Gambar 4.50 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4

Gambar 4.50 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 4. Mula-mula kedalaman sungai adalah 2,01 meter sampai 2,36 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,50 meter sampai 3,55 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 0,7 meter dibawah permukaan laut sampai 1,3 meter diatas permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $698.332,9 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 4 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



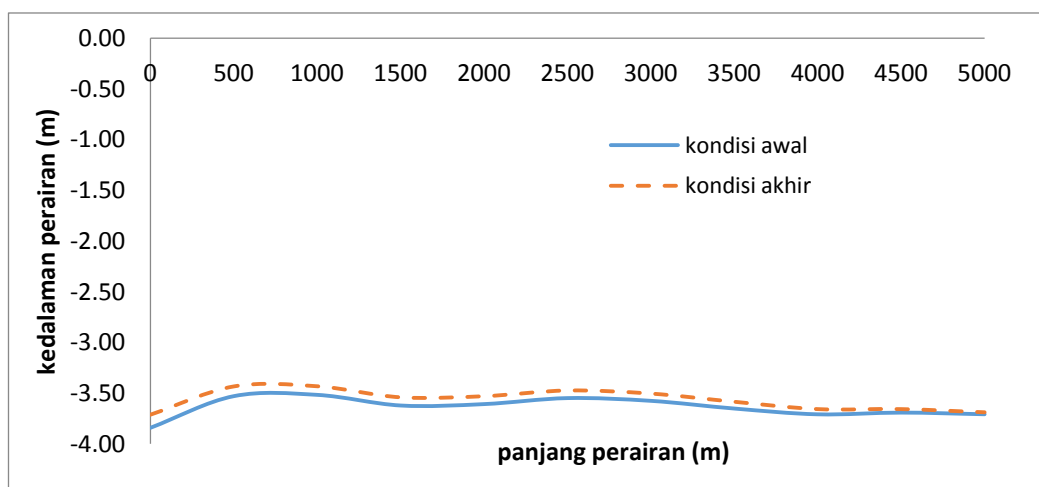
Gambar 4.51 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1

Gambar 4.51 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 1. Kedalaman awal laut adalah 3,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,03 meter sampai 0,22 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 2,8 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $543.710,6 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan laut 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4.52 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2

Gambar 4.52 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 2. Mula-mula kedalaman laut adalah 2,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,03 meter sampai 0,27 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 1,7 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $440.395,0 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan laut 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

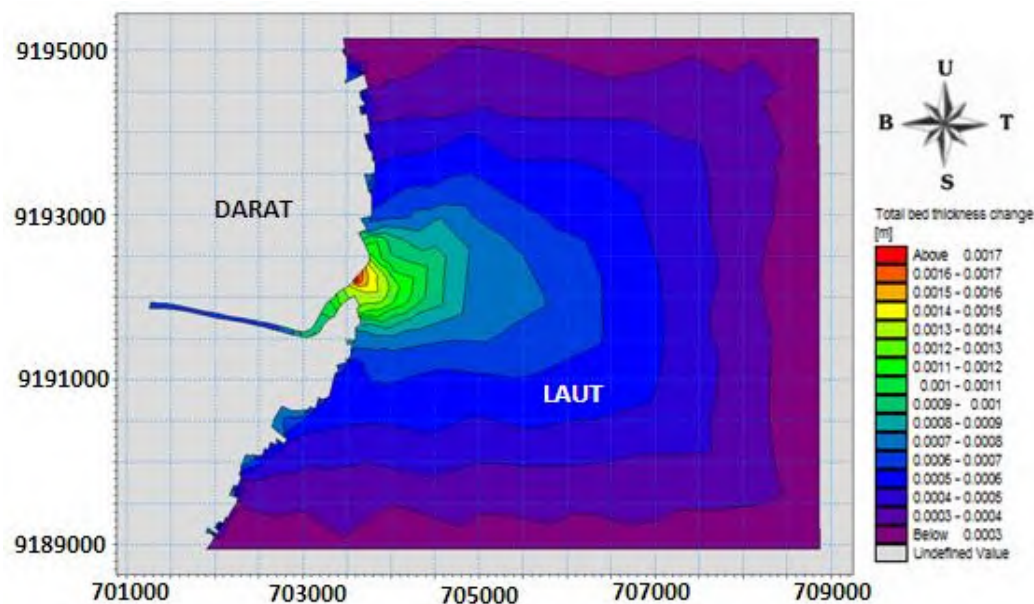


Gambar 4.53 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3

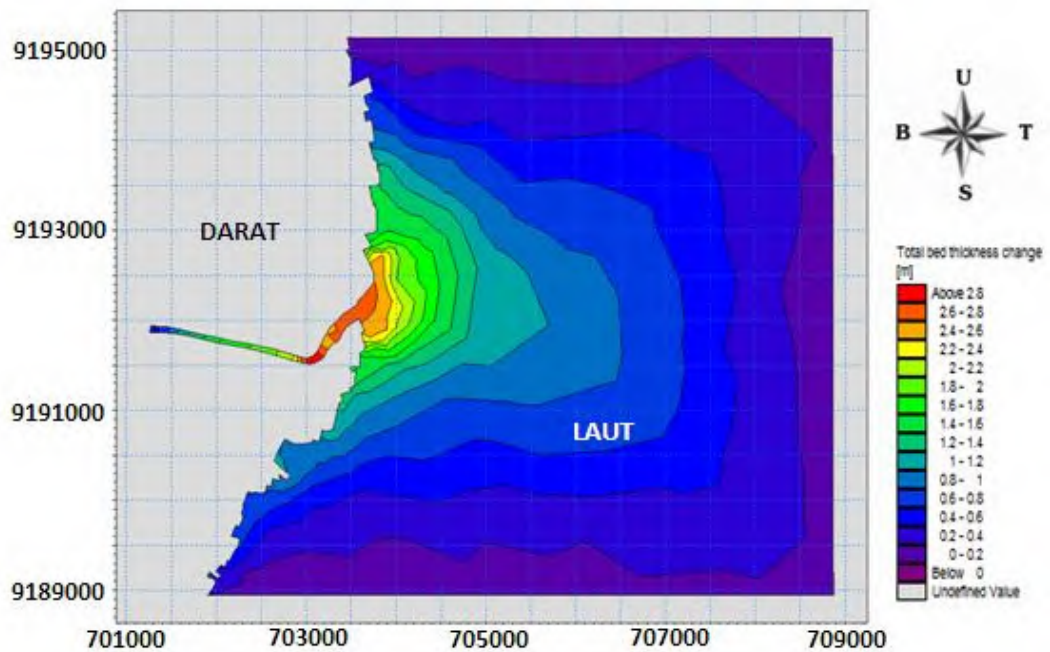
Gambar 4.53, terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 3. Mula-mula kedalaman laut adalah 3,5 meter sampai 3,8 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,02 meter sampai 0,13 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 3,4 meter sampai 3,7 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 337.848,8 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.

4.5.2.4 Perubahan Morfologi Hasil Simulasi Tanpa Gelombang

Analisa perubahan morfologi dari hasil akhir simulasi *total bed thickness change* untuk simulasi tanpa gelombang pada sungai dan laut. Berikut adalah gambar perbandingan perubahan *bed level* awal dan akhir simulasi tanpa gelombang.

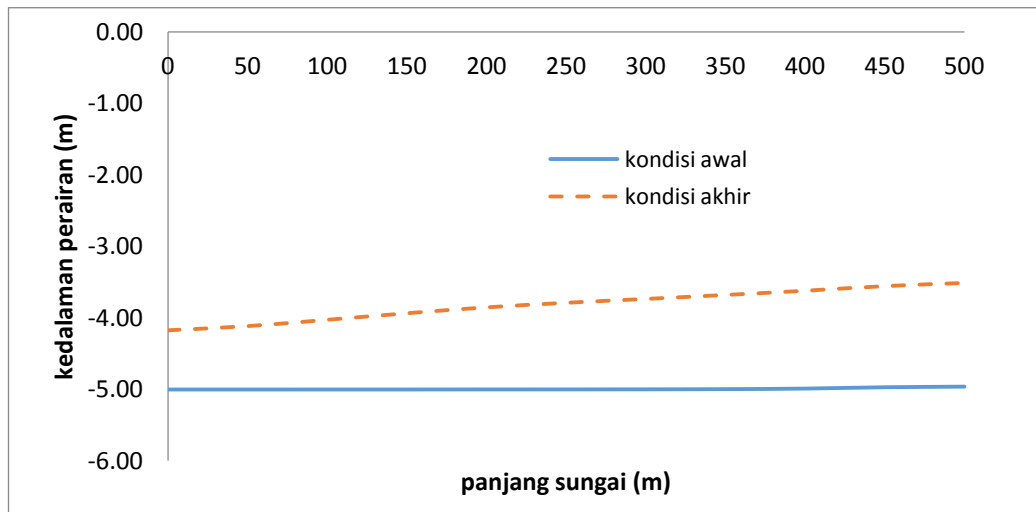


Gambar 4.54 Hasil simulasi tanpa gelombang bed level time step 0
(Sumber : Software MIKE 21)



Gambar 4.55 Hasil simulasi tanpa gelombang bed level time step 4320
(Sumber : Software MIKE 21)

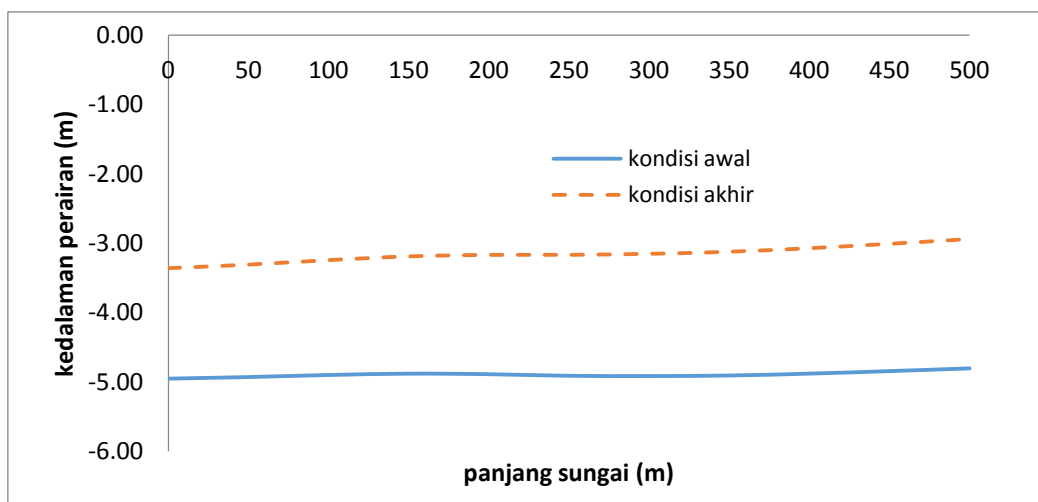
Perubahan kedalaman perairan untuk luasan sungai 1 sampai luasan laut 3 untuk simulasi tanpa gelombang adalah seperti dibawah ini :



Gambar 4.56 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 1

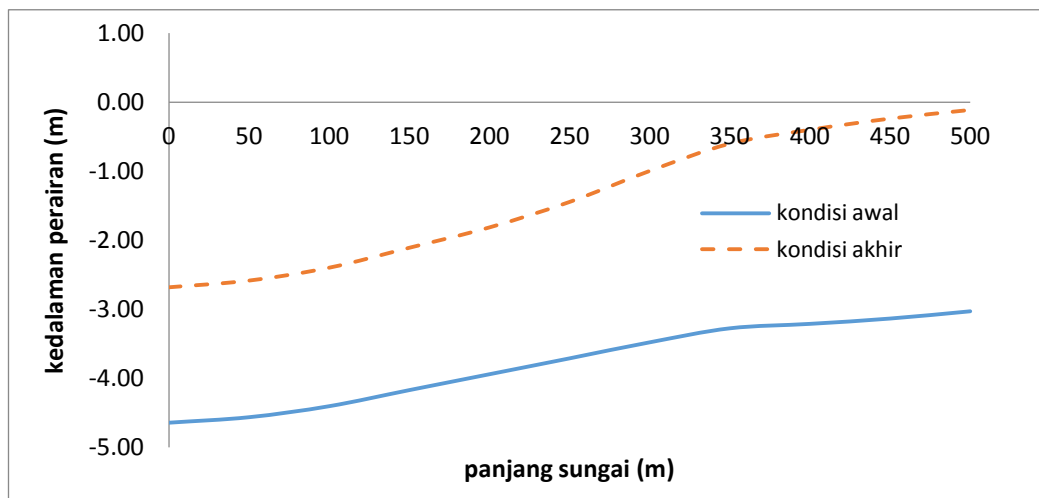
Gambar 4.56 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 1. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,96 meter sampai 5,00 meter

dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,83 meter sampai 1,45 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 3,5 meter sampai 4,1 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 79.038,4 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



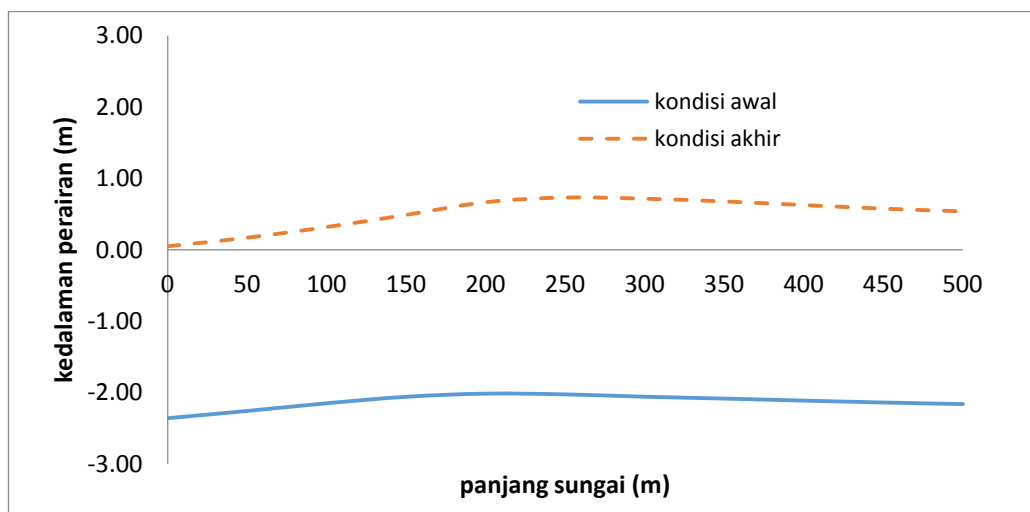
Gambar 4.57 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 2

Gambar 4.57 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 2. Mula-mula kedalaman sungai adalah 4,81 meter sampai 4,95 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,59 meter sampai 1,87 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 2,9 meter sampai 3,4 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 119.824,3 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



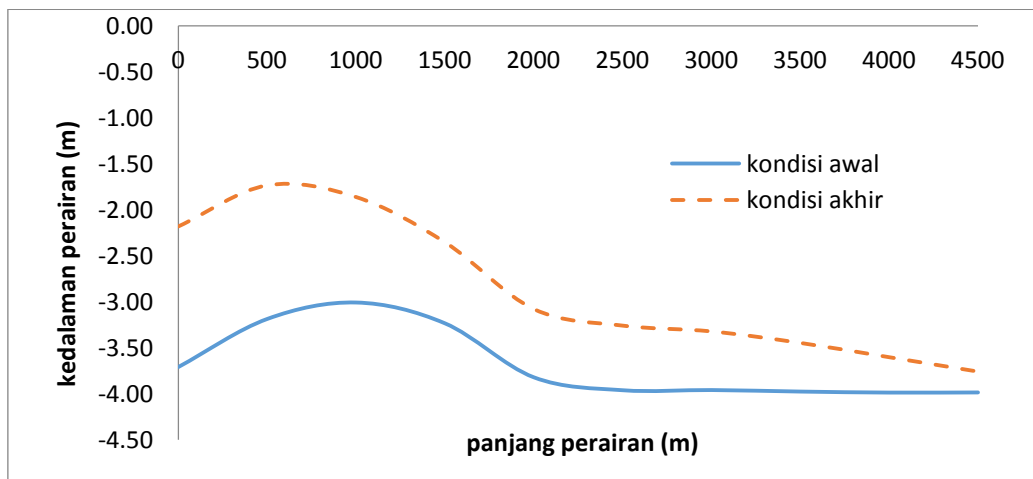
Gambar 4.58 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 3

Gambar 4.58 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 3. Mula-mula kedalaman sungai adalah 3,03 meter sampai 4,64 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 1,96 meter sampai 2,92 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 0,1 meter sampai 2,7 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $161.132,0 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



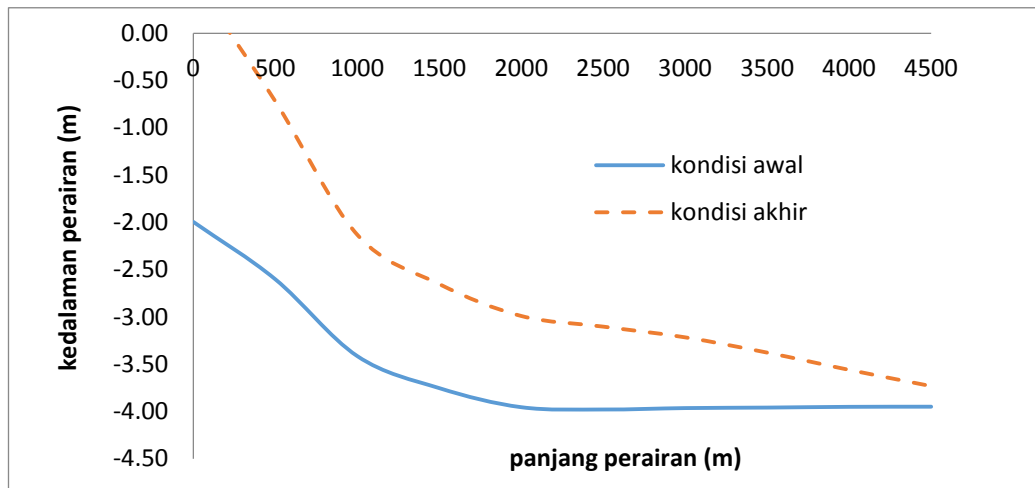
Gambar 4.59 Grafik perubahan kedalaman sungai sepanjang luasan sungai 4

Gambar 4.59 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman pada luasan sungai 4. Mula-mula kedalaman sungai adalah 2,01 meter sampai 2,36 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan gelombang, terjadi penambahan elevasi sebesar 2,4 meter sampai 2,8 meter. Terjadi perubahan kedalaman sungai menjadi 0,05 meter sampai 0,74 meter diatas permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 664.041,4 m³. Grafik penambahan elevasi luasan sungai 4 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



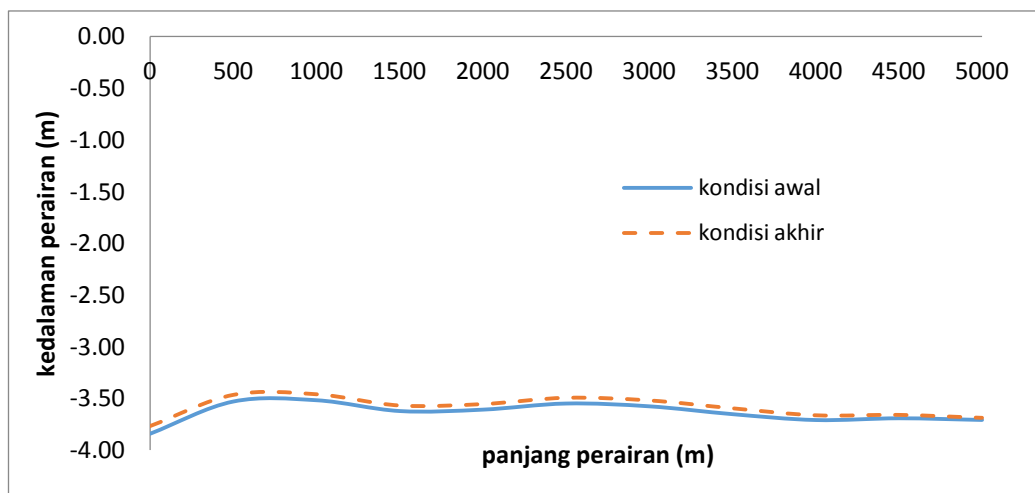
Gambar 4.60 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 1

Gambar 4.60 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 1. Kedalaman awal laut adalah 3,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,23 meter sampai 0,88 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 1,7 meter sampai 3,7 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 3.755.653,8 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 1 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



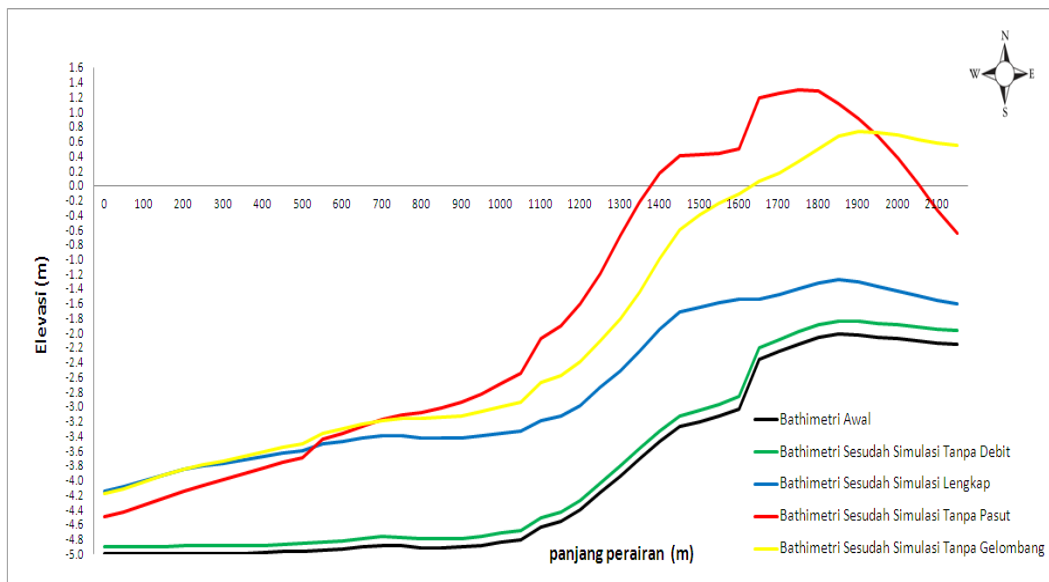
Gambar 4.61 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 2

Gambar 4.61 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 2. Mula-mula kedalaman laut adalah 2,0 meter sampai 3,9 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,22 meter sampai 2,57 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 0,7 meter sampai 3,7 meter dibawah permukaan laut dan 0,58 diatas permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar $4.477.811,0 \text{ m}^3$. Grafik penambahan elevasi luasan laut 2 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 4.62 Grafik perubahan kedalaman laut sepanjang luasan 3

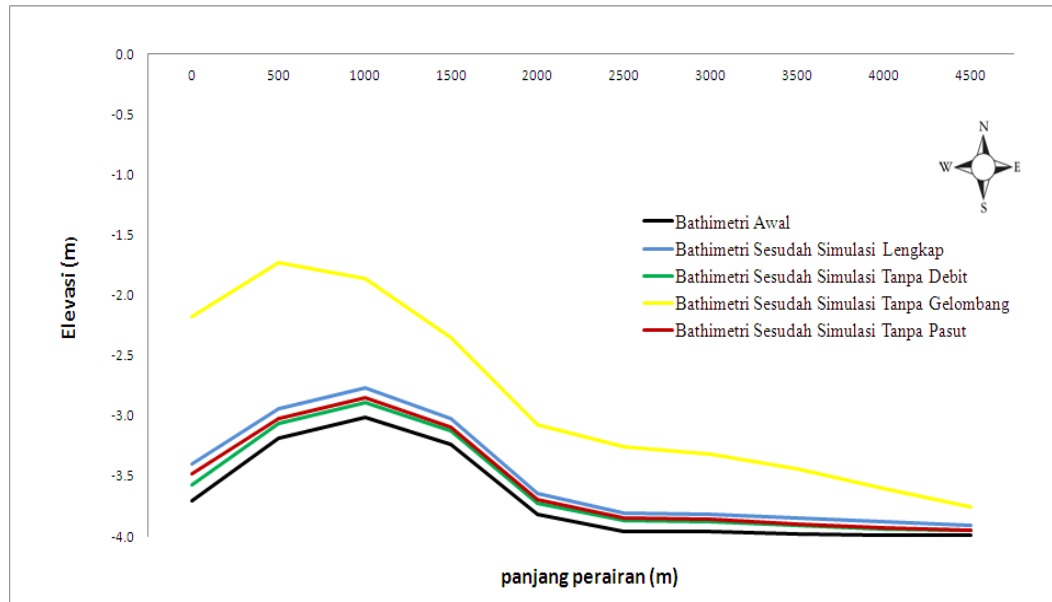
Gambar 4.62 menunjukkan terjadi perubahan kedalaman laut pada luasan 3. Mula-mula kedalaman laut adalah 3,5 meter sampai 3,8 meter dibawah permukaan laut. Hasil akhir simulasi memperlihatkan bahwa dibawah pengaruh debit sungai dan pasang surut, terjadi penambahan elevasi sebesar 0,17 meter sampai 1,07 meter. Terjadi perubahan kedalaman menjadi 2,8 meter sampai 3,5 meter dibawah permukaan laut. Hasil surfer 12 menunjukkan bahwa daerah ini mengalami sedimentasi sebesar 3.277.512,4 m³. Grafik penambahan elevasi luasan laut 3 dan hasil perhitungan *cut and fill* surfer 12 dapat dilihat pada Lampiran 5.



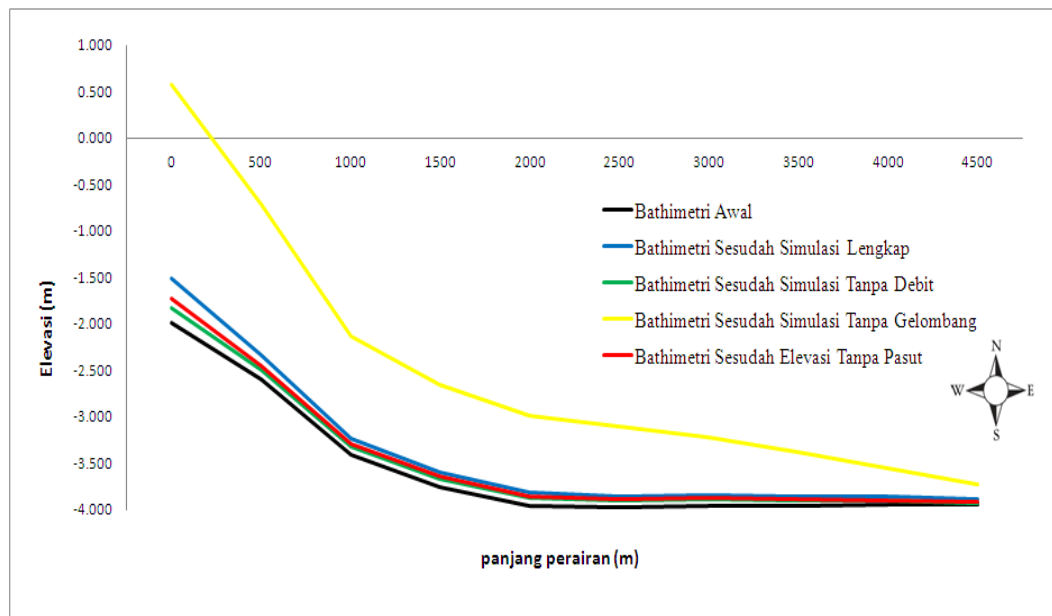
Gambar 4.63 Grafik perubahan bathimetri sungai sebelum dan sesudah simulasi

Perubahan bathimetri sungai awal dan sungai akhir tiap simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.63 dan perhitungan perubahan bathimetrinya dapat dilihat pada Lampiran 6. Dari gambar perubahan kedalaman tersebut dalam disimpulkan bahwa simulasi tanpa pasut dan tanpa gelombang memperlihatkan perubahan bathimetri yang tidak dapat diterima. Perubahan bathimetri di depan muara atau laut pada Gambar 4.64, Gambar 4.65 dan Gambar 4.66, perhitungan perubahan bathimetrinya dapat dilihat pada Lampiran 7 merupakan perubahan bathimetri sebelum simulasi dan akhir simulasi dari tiap-tiap simulasi, yang dominan

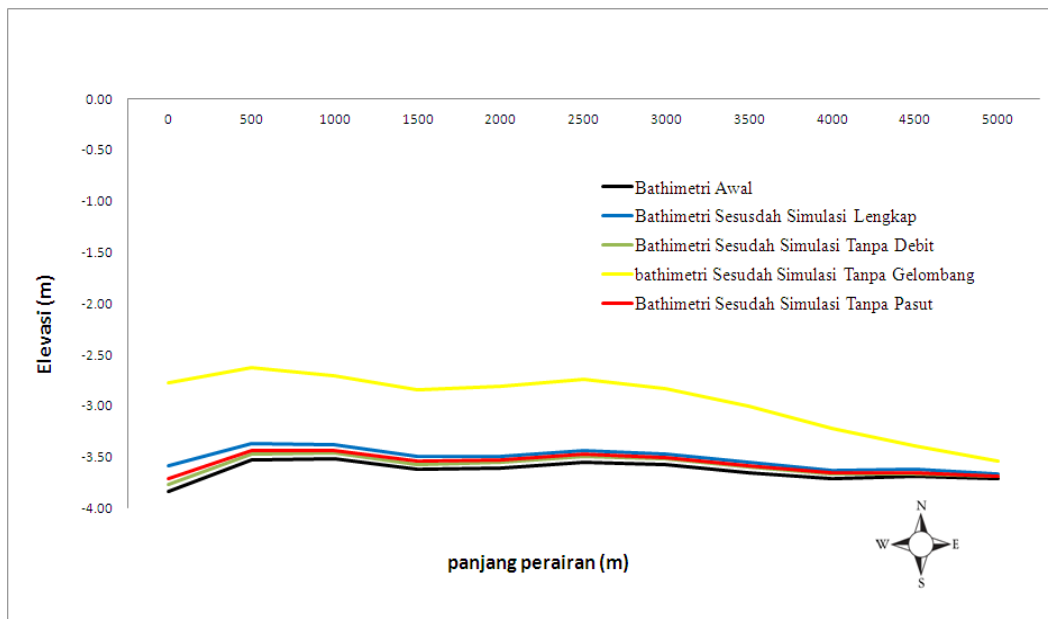
dipengaruhi oleh gelombang karena perubahan yang paling memperlihatkan error terbesar adalah ketika tidak ada faktor gelombang dalam simulasi.



Gambar 4.64 Grafik perubahan bathimetri laut 1 sebelum dan sesudah simulasi



Gambar 4.65 Grafik perubahan bathimetri laut 2 sebelum dan sesudah simulasi



Gambar 4.66 Grafik perubahan bathimetri laut 3 sebelum dan sesudah simulasi

Perairan Kali Muara Wonokromo berdasarkan klasifikasi Davies (1964) dan Hayes (1979) pada Gambar 2.2 yaitu hubungan antara gelombang dan pasang surut, dari hasil perhitungan sebagai faktor dominannya adalah pasang surut dengan nilai elevasi pasang surut sebesar 2,5 meter dan tinggi gelombang rata-rata 0,4 meter. Data pasang surut dapat dilihat pada Lampiran 8 dan data gelombang dapat dilihat pada Lampiran 9.

Kali Wonokromo adalah bagian dari delta Sungai Brantas di kota Surabaya tepatnya berada di bagian pantai Timur kota Surabaya yang merupakan daerah estuari (*estuarine*). Daerah perairan muara kali Wonokromo berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada bulan Agustus yaitu saat musim timur (musim kemarau) ditandai dengan rendahnya curah hujan dengan nilai debit sungai yaitu $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, arah angin dominan dari arah tenggara, arus pasang (*flood currents*) lebih besar daripada arus surut (*ebb currents*) dan nilai konsentrasi sedimen layang (*suspended sediment*) sangat rendah yaitu berkisar antara $0,0073 \text{ kg/m}^3$ sampai $0,0086 \text{ kg/m}^3$.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hoekstra (1988-1989) menyatakan bahwa angin Muson dan pasang surut sangat mempengaruhi pola aliran sungai dan perairan di pesisir pantai timur. Angin Muson (musim barat

dan musim timur) menyebabkan tingginya curah hujan saat musim barat dan rendahnya curah hujan saat musim timur. Pergerakan pasang surut tidak hanya menyebabkan fluktuatif muka air tetapi juga disertai dengan alternasi arus pasang (*flood current*) dan arus surut (*ebb current*). Transpor sedimen dan air disepanjang pantai timur juga disebabkan oleh pergerakan periodik pasang surut. Angin muson juga berperan penting untuk membangkitkan gelombang permukaan. Gelombang di daerah ini merupakan gelombang swell dengan ketinggian gelombang kurang dari 1,5 meter. Saat musim kemarau (*dry season*) debit sungai sangat kecil dan bahkan nol. Transportasi sedimen pada musim kemarau umumnya rendah atau bahkan diabaikan.

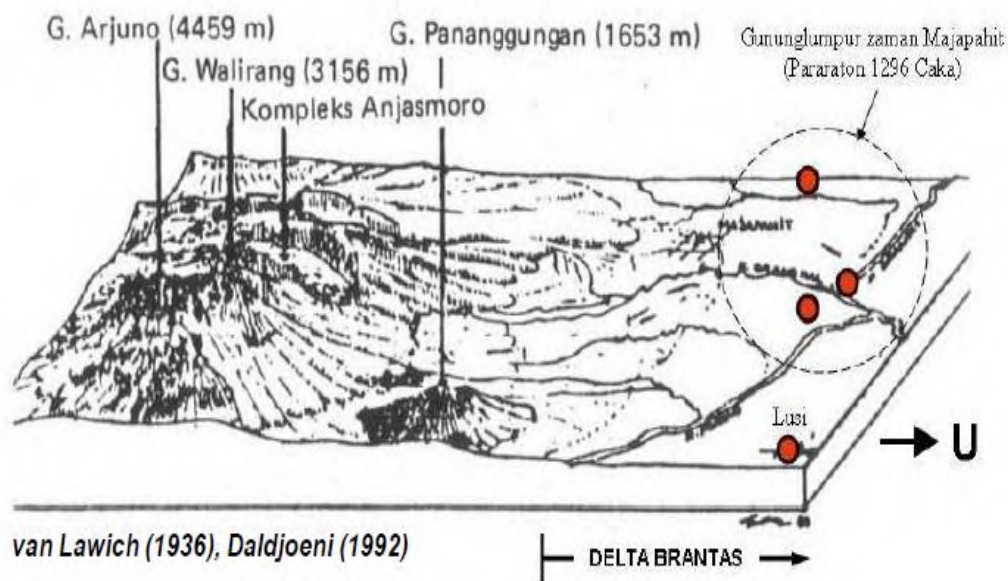
Juga penelitian yang dilakukan oleh Nugraha dan Yanagi (2003) menyatakan bahwa sumber utama sedimen dan air untuk Kota Surabaya dan daerah estuari adalah Kali Brantas. Kali Brantas yang mengandung banyak sedimen mengalir dari hulu melewati Kali Mas, Kali Porong dan Kali Wonokromo dan berakhir di selat Madura. Namun debit aliran di beberapa kali ini sebagian besar dikontrol oleh manusia, dengan adanya pembangunan dam dan pintu air. Selama musim kemarau (*dry season*) angin tenggara merupakan angin dominan dan bergerak ke arah timur laut, sementara saat musim hujan (*wet season*) didominasi oleh angin barat dan bergerak ke timur.

4.6 Delta Brantas di Surabaya

Kota Surabaya termasuk kota yang paling tua di pulau Jawa dan bahkan di kawasan kepulauan Melayu. Perkampungan permanen pertama sudah ada kira-kira pada pertengahan abad ke 9 dan berada di tepi Sungai Kalimas di bagian delta Brantas. Kawasan percabangan kali Surabaya dimana kearah utara adalah Kali Mas dan ke arah Timur adalah Kali Wonokromo dahulu disebut Patjekan. Daerah ini dulunya adalah pelabuhan tempat bersandarnya kapal-kapal asing. Namun kawasan ini kini telah berganti nama menjadi Ngagel tempat berdirinya tempat pengelolaan air bersih PDAM Ngagel (Purwono, 2010).

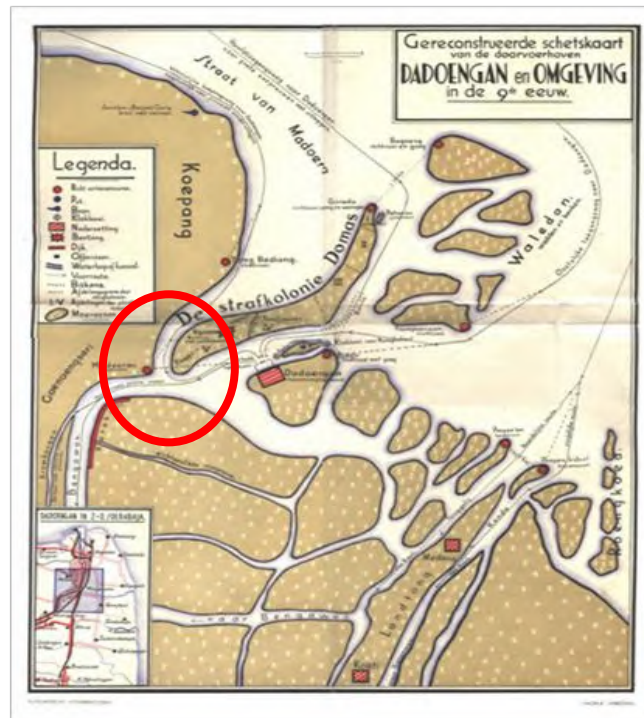
Semula Surabaya merupakan perkampungan kecil yang bernama Glagah Arum. Tahun 1358 dikenal juga sebagai desa penambangan kecil di tepi muara

sungai Brantas. Sejak abad ke-19, kawasan delta sungai Brantas merupakan pusat pelayaran dan perniagaan. Satu-satunya jalan penghubung di musim hujan adalah sungai. Surabaya sebagai kota pesisir (tepi sungai Kali Mas) juga merupakan tempat pemukiman bagi orang-orang asing seperti orang Arab, orang Tionghoa, orang Melayu dan lain-lain. Kali Mas saat itu dapat dilayari oleh kapal uap (*stoom-boat*) dan kapal layar (*sekunar*). Luas kota Surabaya tahun 1905 adalah 4.275 Ha dengan daerah paling selatan adalah daerah Kayoon. Untuk membebaskan kota Surabaya dari banjir, dibangunlah pematusan yaitu pembuatan *boezem* oleh kantor *assainering* untuk melepaskan air yang berlebihan ke laut pada waktu musim hujan dan dapat menampung air pada waktu musim kemarau. Pelebaran saluran Wonokromo dan pembangunan pintu air besar di Wonokromo selesai pada tahun 1920. Perluasan dasar sungai Wonokromo juga dilakukan guna memungkinkan pelayaran perahu setelah air surut. Daerah rawa dikeringkan dan diurug untuk mengatasi kekurangan perumahan saat itu. Pada tahun 1930-an luas kota Surabaya kemudian menjadi 8.280 ha seiring dengan berkembangnya sarana dan prasarana seperti pelabuhan, lapangan udara, lalu lintas darat dan industri (Santoso dkk., 2002)



Gambar 4.67 Aktivitas gunung berapi pembentukan delta sungai Brantas (Sumber : Satyana, 2011)

Aktifitas beberapa gunung berapi yang menghasilkan semburan lumpur dan dibawa oleh aliran sungai Brantas merupakan faktor terbentuknya delta sungai Brantas (Satyana, 2011)

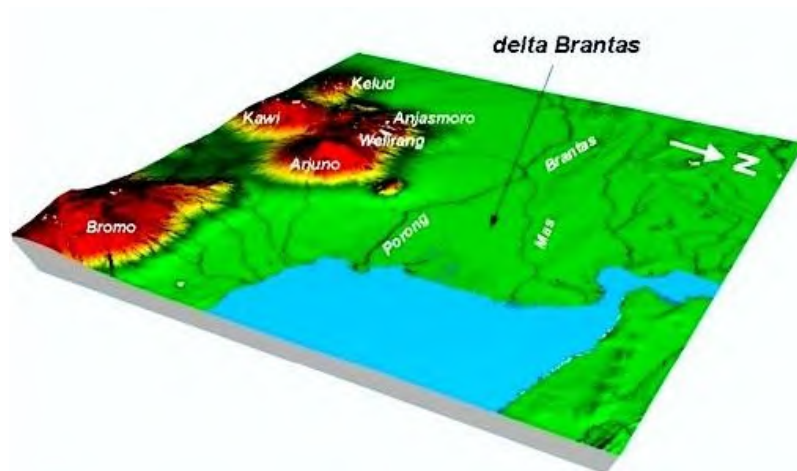


Gambar 4.68 Peta Surabaya Pada Abad ke-9
(Sumber : Von Faber, 1953)

Gambar 4.68 memperlihatkan bahwa Surabaya adalah muara sungai dan terbentuk oleh gugusan kepulauan. Muara Sungai Kali Brantas dengan anaknya Kali Surabaya masih di Wonokromo. Sedangkan Surabaya sekarang merupakan pulau-pulau kecil yang terjadi akibat lumpur yang hanyut dari letusan gunung berapi. Namun, lama-kelamaan terus terjadi pendangkalan di muara sungai yang terletak di Selat Madura ini. Gugusan pulau-pulau ini kemudian perlahan-lahan menyatu menjadi daerah rawa dan menjadi pelabuhan pada muara sungai Brantas dan perkampungan di tepi sungai Kalimas (Von Faber, 1953).

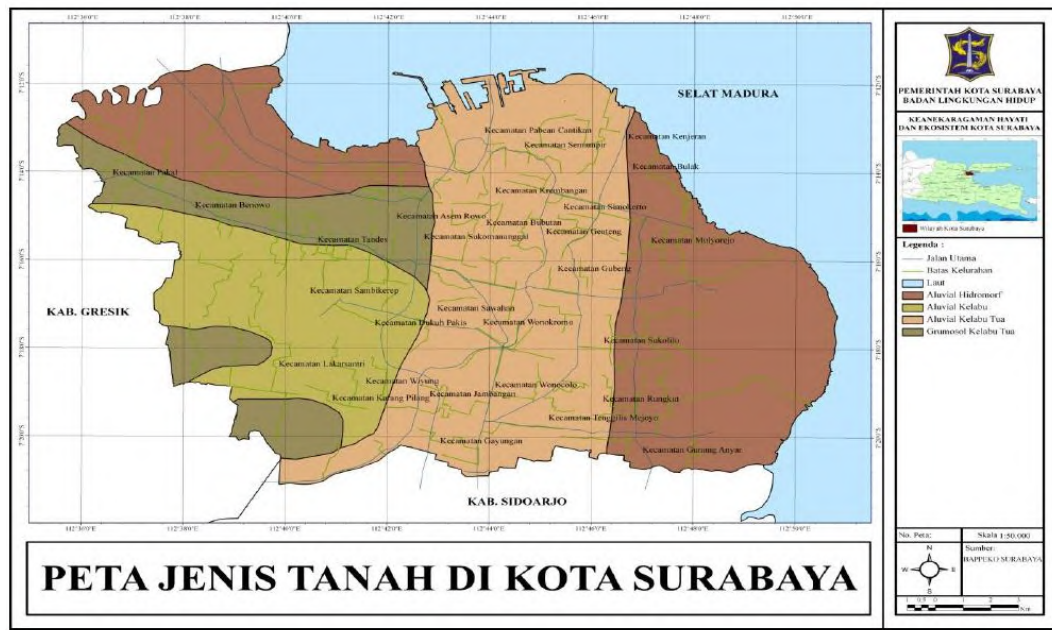


Gambar 4.69 Peta Surabaya Tahun 1976
(Sumber : Henry, 1976)



Gambar 4.70 Delta Brantas dibentuk oleh Sungai Brantas, Kali Porong, dan Kali Mas. (Sumber : Satyana, 2011)

Gambar 4.71 menunjukkan bahwa sedimen delta sungai Brantas merupakan sedimen alluvial. Sedimen ini berasal dari letusan gunung berapi dan dibawa oleh sungai tunggal yaitu sungai Brantas (*river delta*).



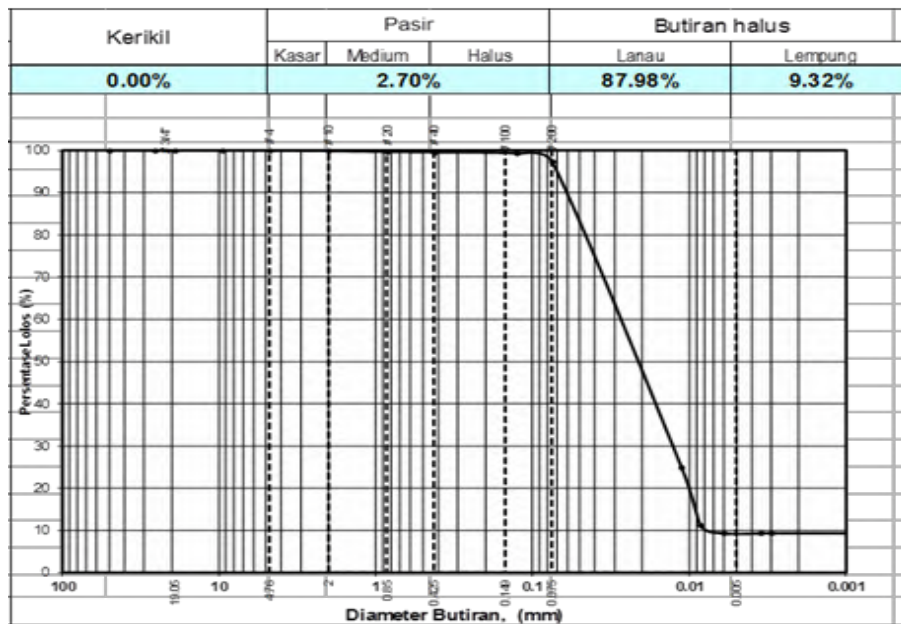
Gambar 4.71 Peta Jenis Tanah Kota Surabaya
(Sumber : Bappeko Kota Surabaya, 2013)

Tabel 1. Kejadian Angin di daerah Wonorejo bulan Agustus 2015

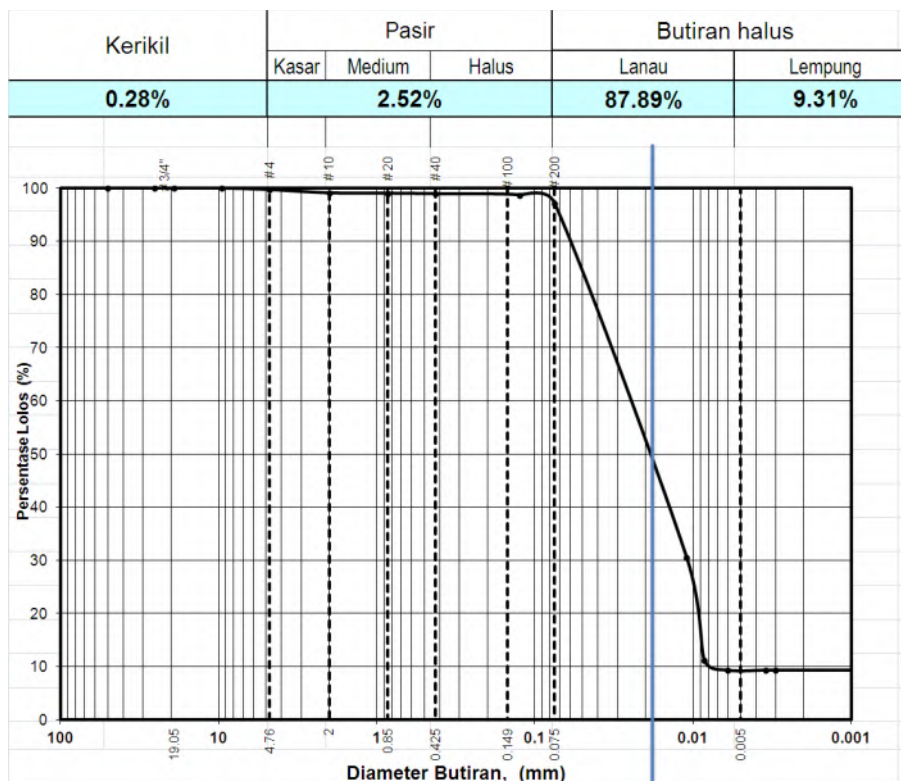
| Arah | Kecepatan Angin (m/s) | | | | | | Total |
|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|---------|-------|
| | 0.5 - 2.1 | 2.1 - 3.6 | 3.6 - 5.7 | 5.7 - 8.8 | 8.8 - 11.1 | >= 11.1 | |
| Utara | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Timur Laut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Timur | 5 | 165 | 46 | 0 | 0 | 0 | 216 |
| Tenggara | 12 | 464 | 51 | 0 | 0 | 0 | 527 |
| Selatan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat Daya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat Laut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sub-Total | 17 | 629 | 97 | 0 | 0 | 0 | 743 |
| Calms | | | | | | | 0 |
| Tidak Lengkap | | | | | | | 1 |
| Total | | | | | | | 744 |

Tabel 2. Prosentase Kejadian Angin di daerah Wonorejo bulan Agustus 2015

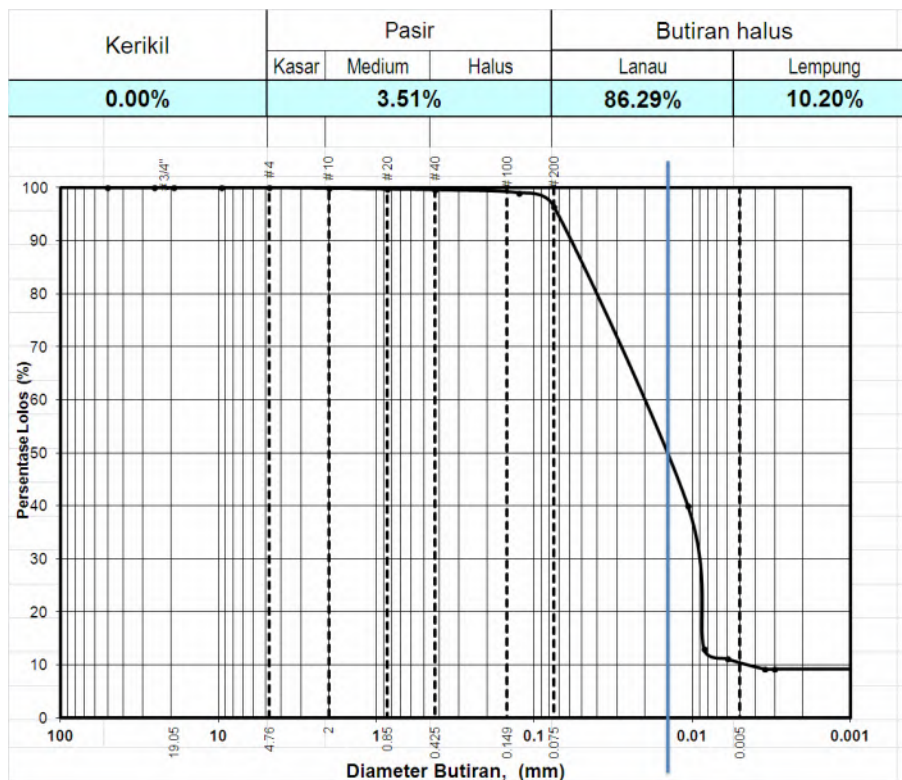
| Arah | Kecepatan Angin (m/s) | | | | | | Total (%) |
|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|---------|-----------|
| | 0.5 - 2.1 | 2.1 - 3.6 | 3.6 - 5.7 | 5.7 - 8.8 | 8.8 - 11.1 | >= 11.1 | |
| Utara | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Timur Laut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Timur | 0.67295 | 22.2073 | 6.19112 | 0 | 0 | 0 | 29.0323 |
| Tenggara | 1.61507 | 62.4495 | 6.86406 | 0 | 0 | 0 | 70.8333 |
| Selatan | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat Daya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Barat Laut | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sub-Total | 2.28495 | 84.543 | 13.0376 | 0 | 0 | 0 | 99.8656 |
| Calms | | | | | | | 0 |
| Tidak Lengkap | | | | | | | 0.13441 |
| Total | | | | | | | 100 |



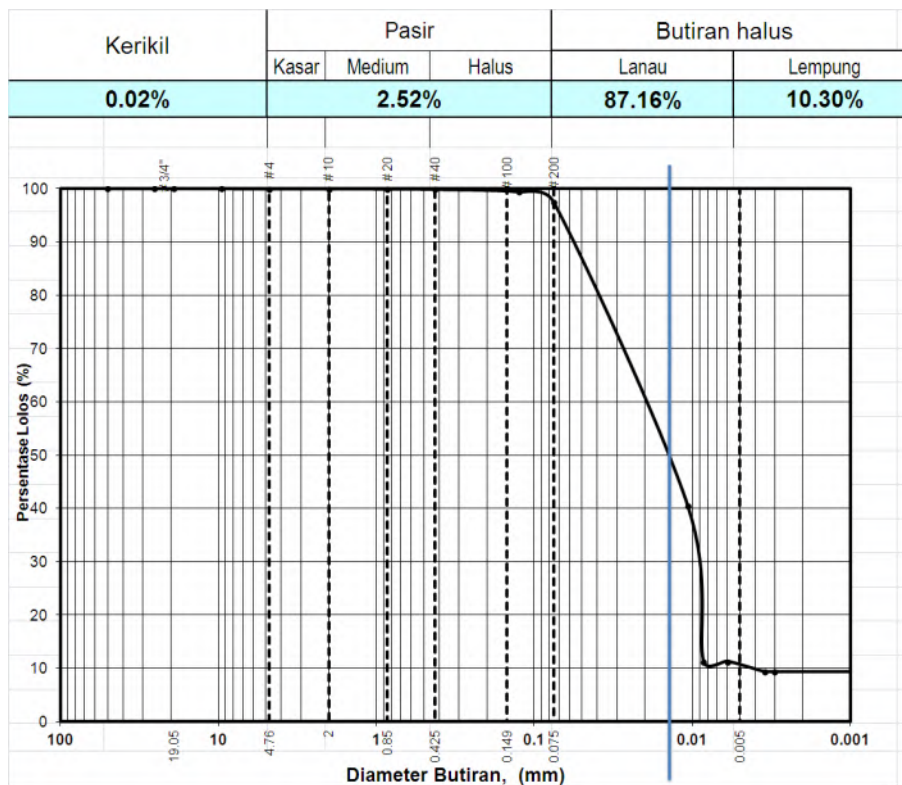
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 1



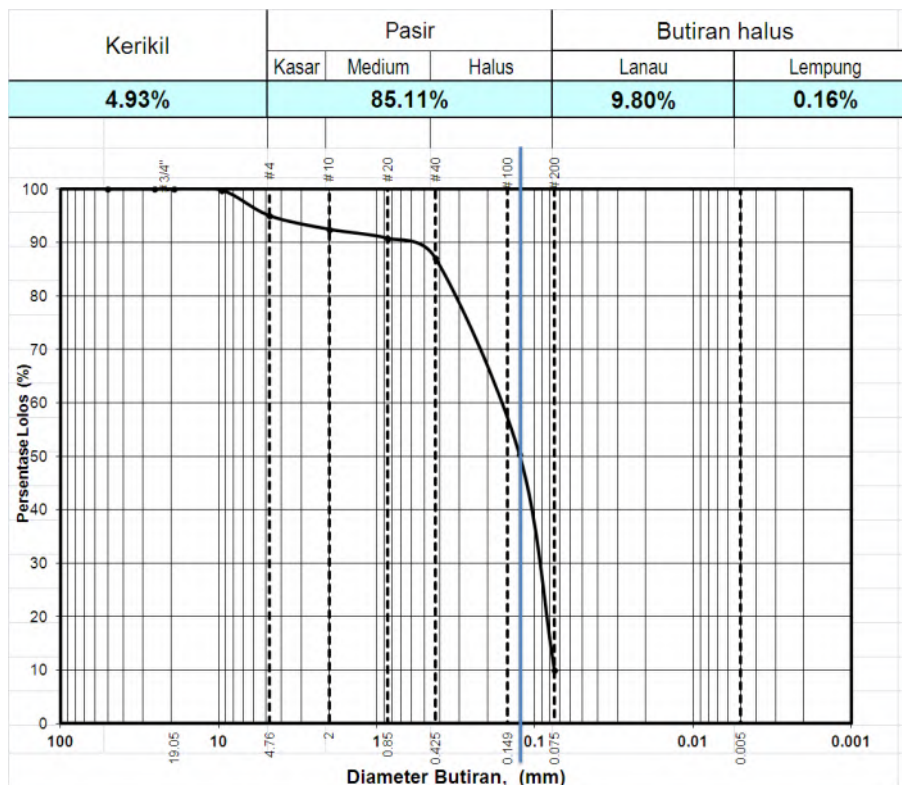
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 2



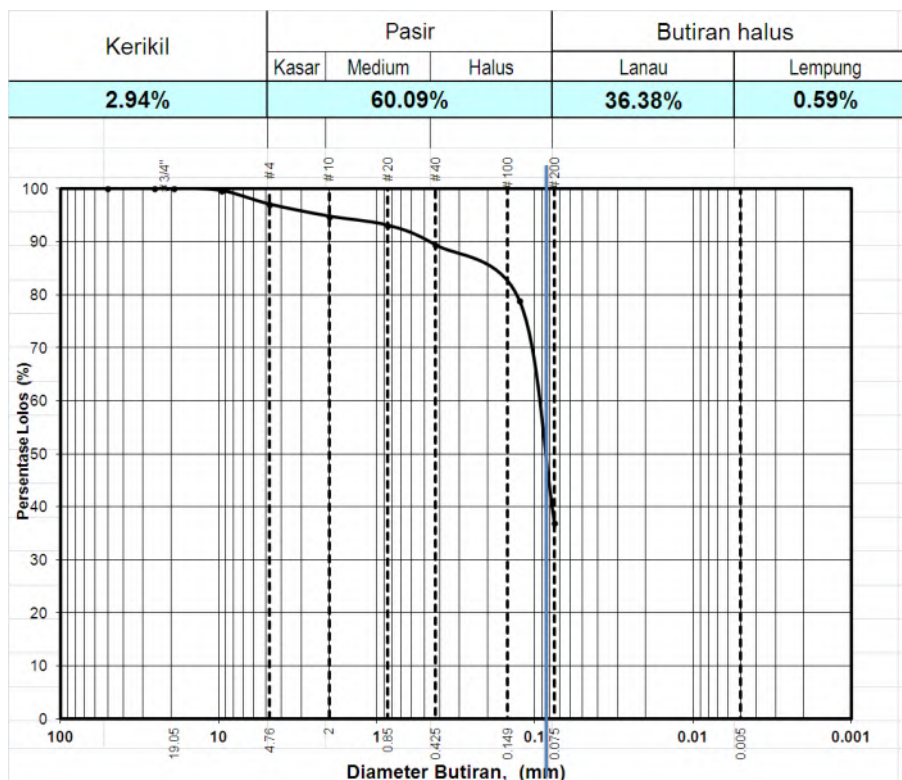
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 3



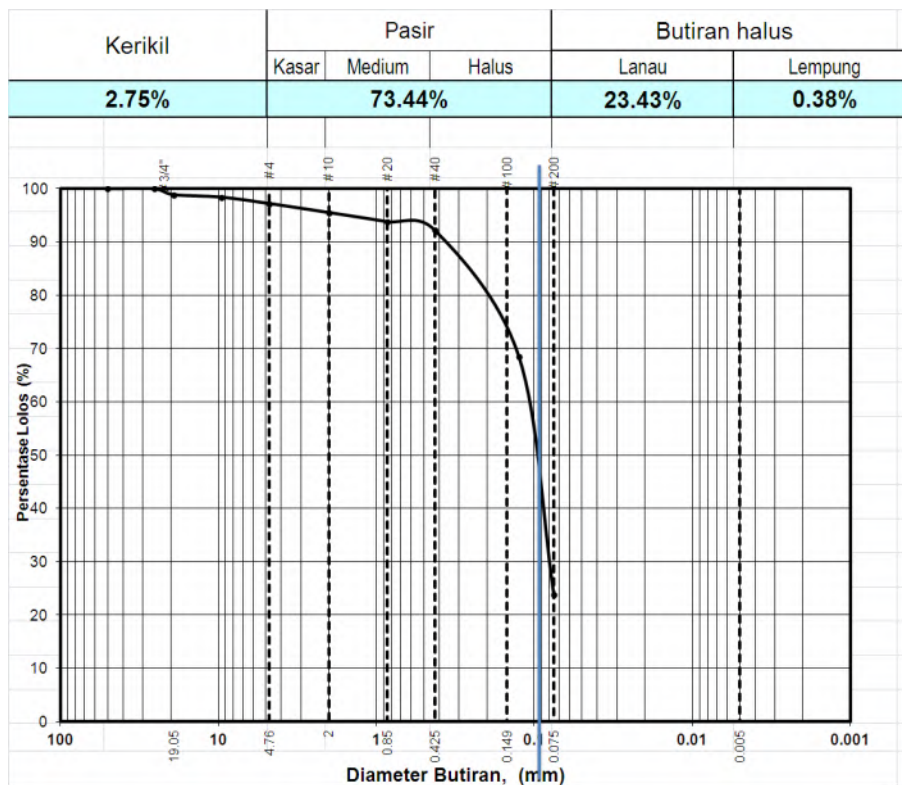
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 4



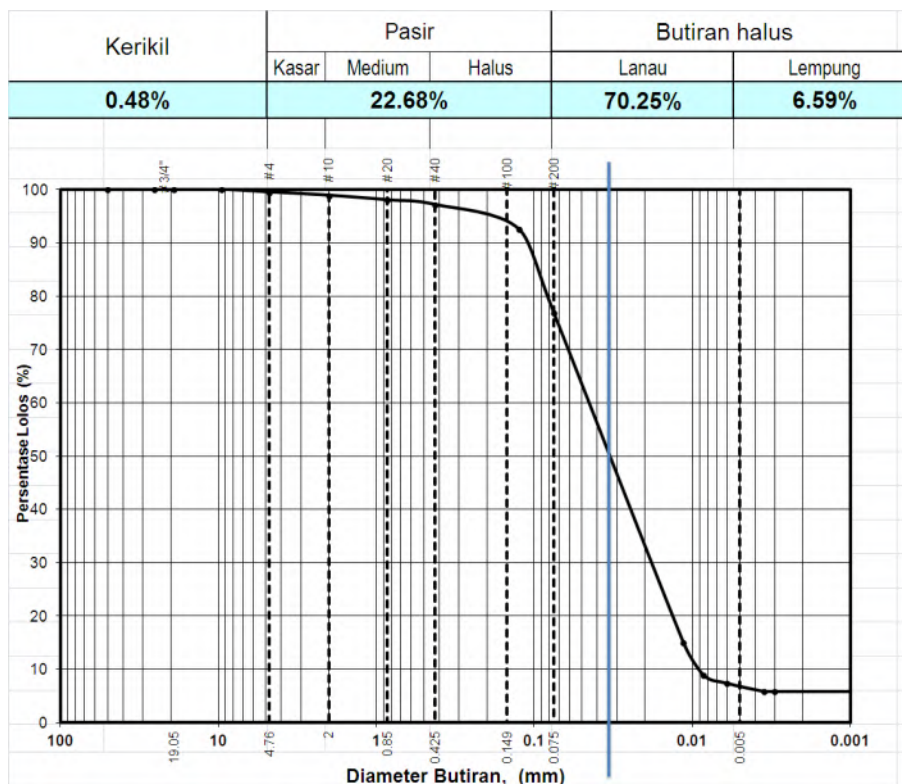
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 5



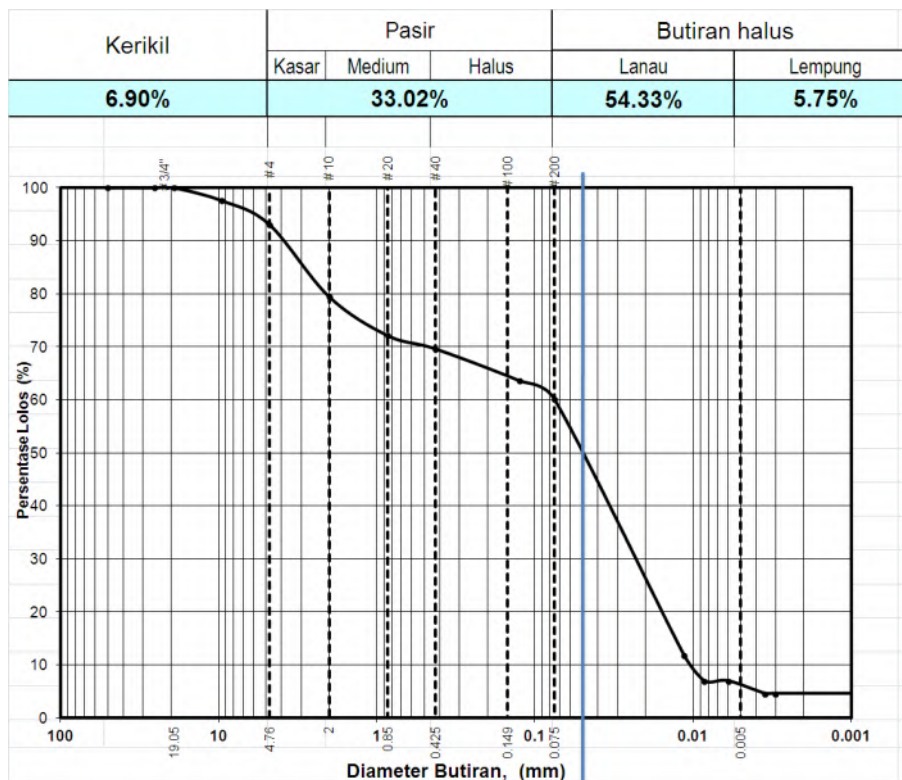
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 6



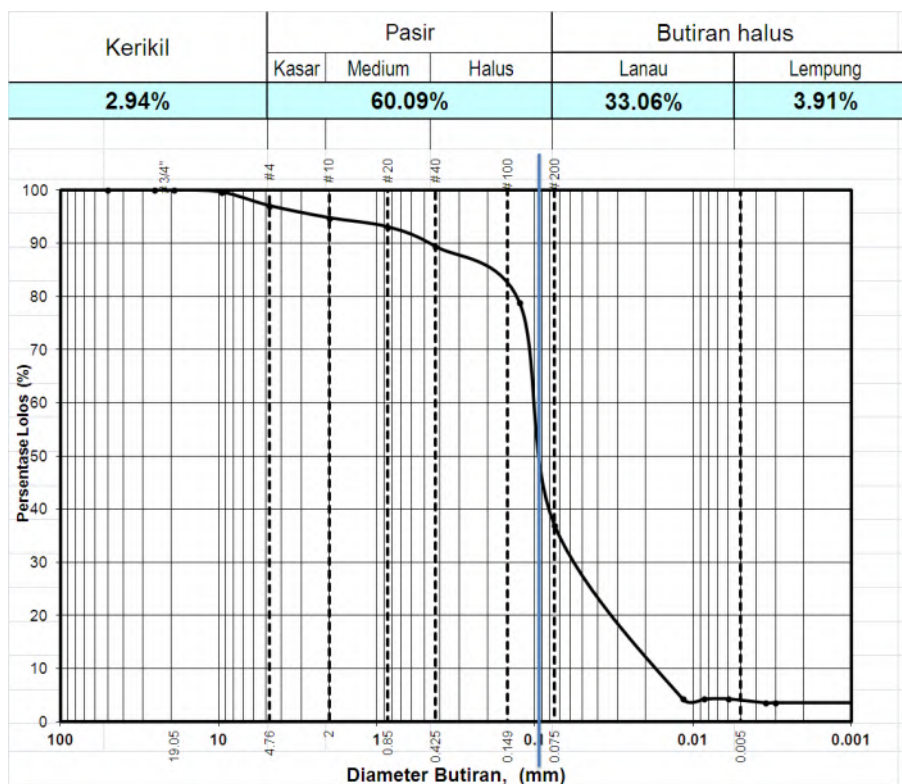
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 7



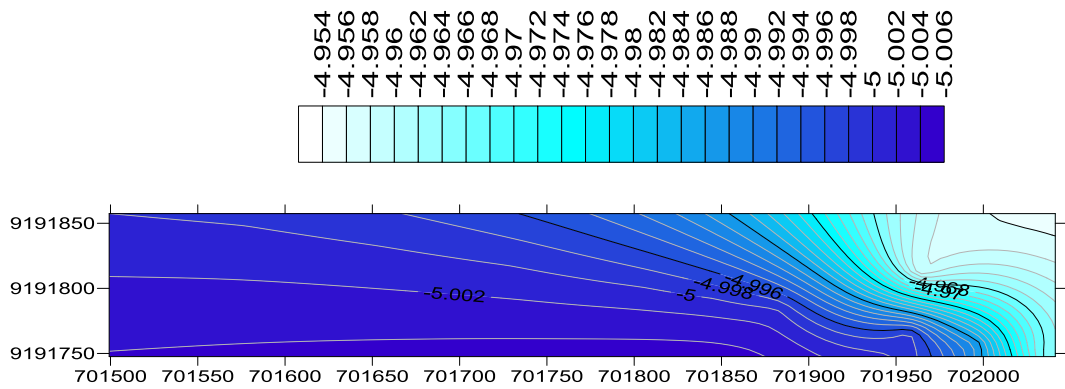
Gambar Grafik analisa sedimen untuk sampel 8



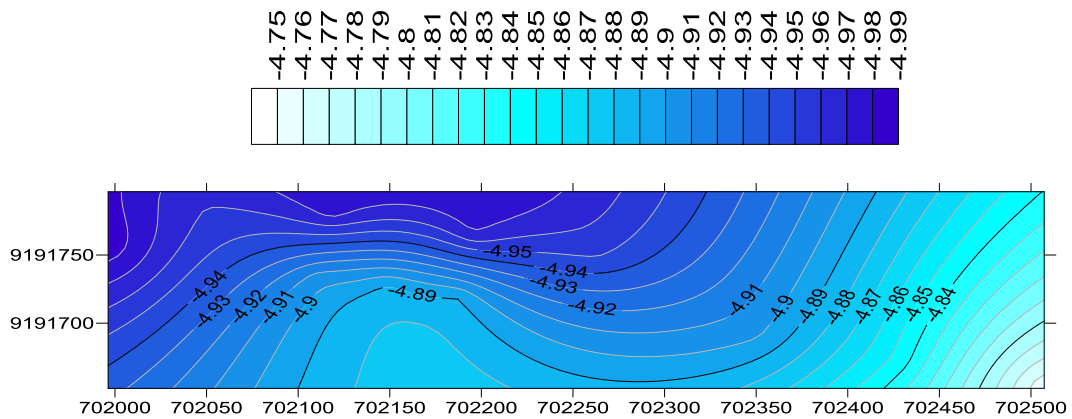
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 9



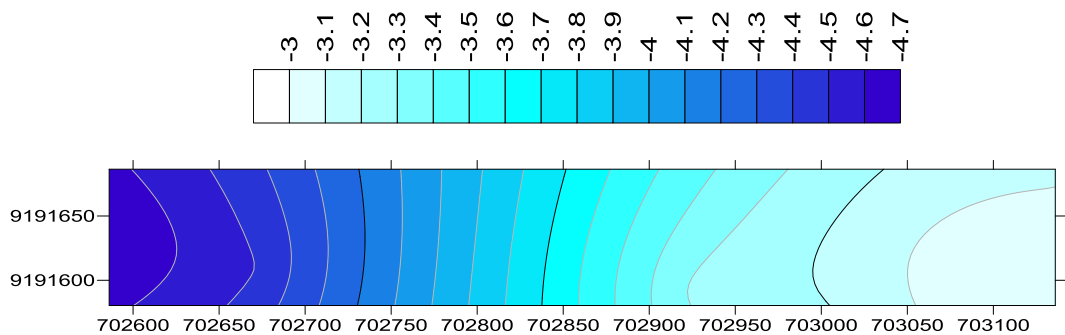
Gambar Grafik Hasil analisa sedimen untuk sampel 10



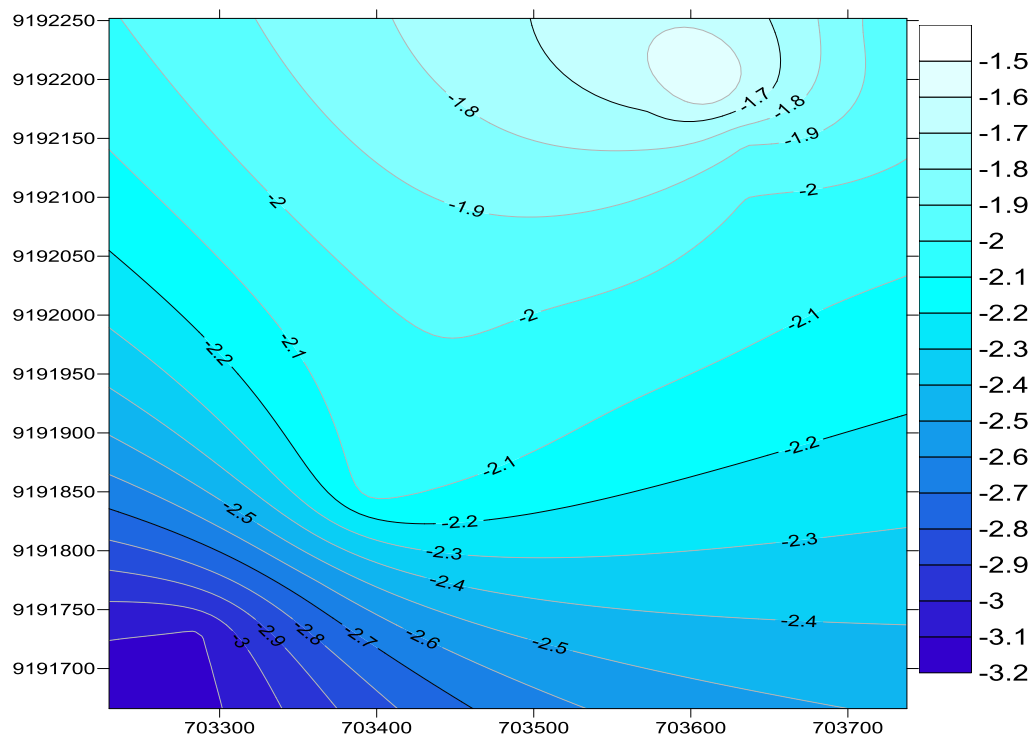
Gambar Bathimetri Awal Luasan Sungai I



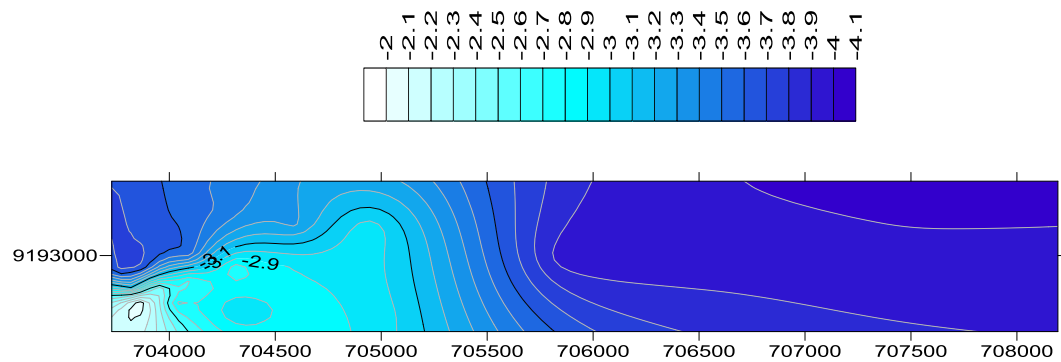
Gambar Bathimetri Awal Luasan Sungai II



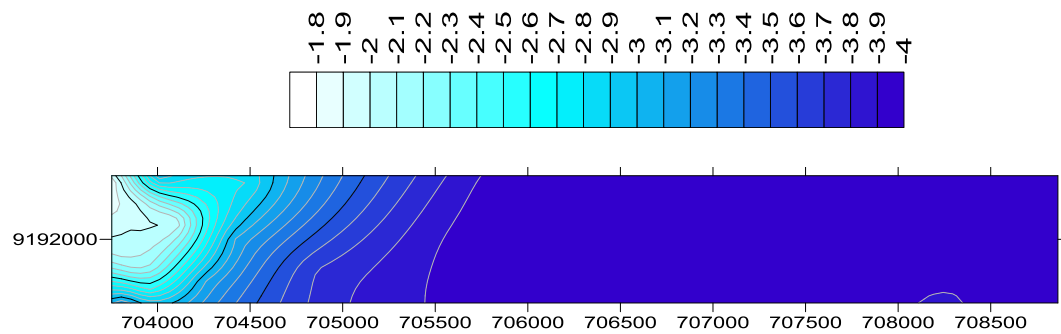
Gambar Bathimetri Awal Luasan Sungai III



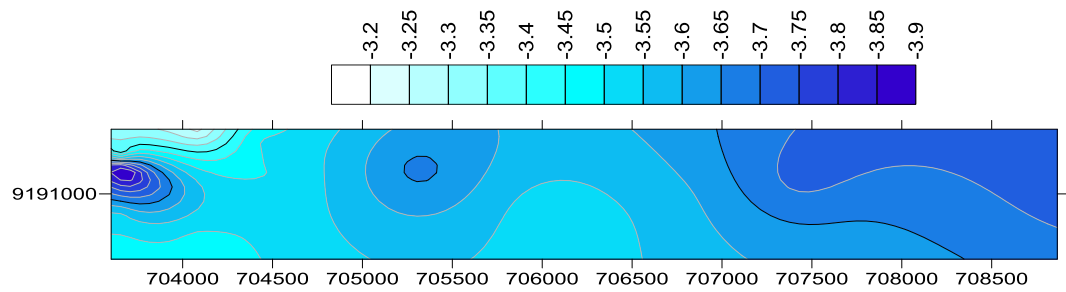
Gambar Bathimetri Awal Luasan Sungai IV



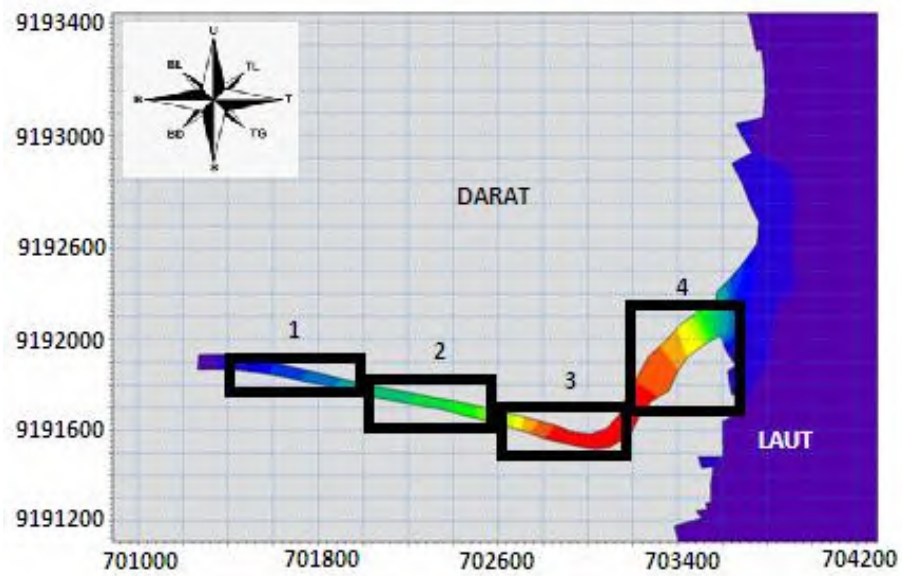
Gambar Bathimetri Awal Luasan Laut I



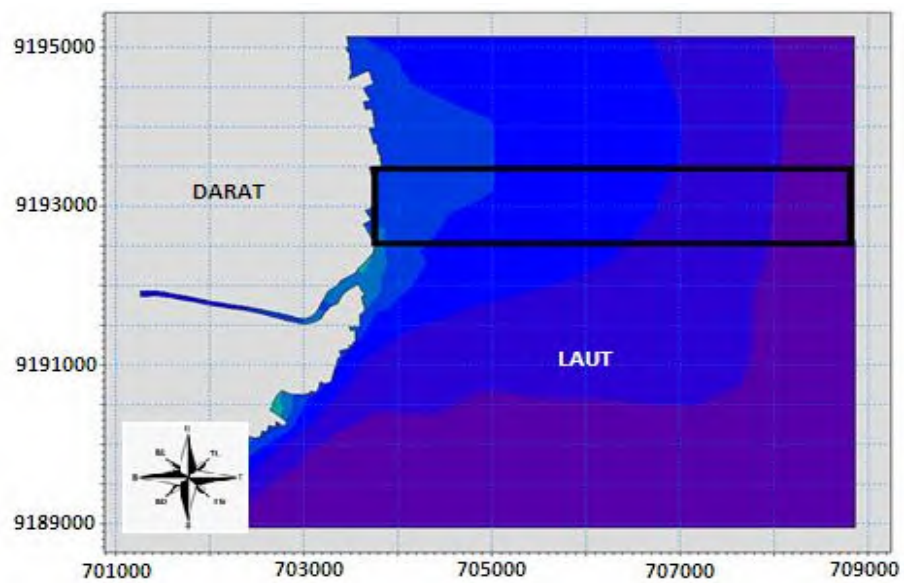
Gambar Bathimetri Awal Luasan Laut II



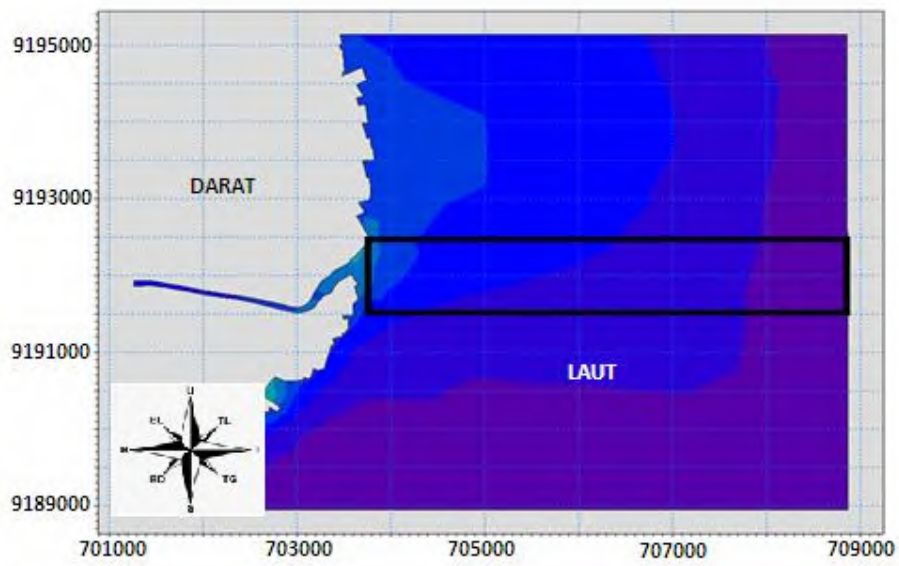
Gambar Bathimetri Awal Luasan Laut III



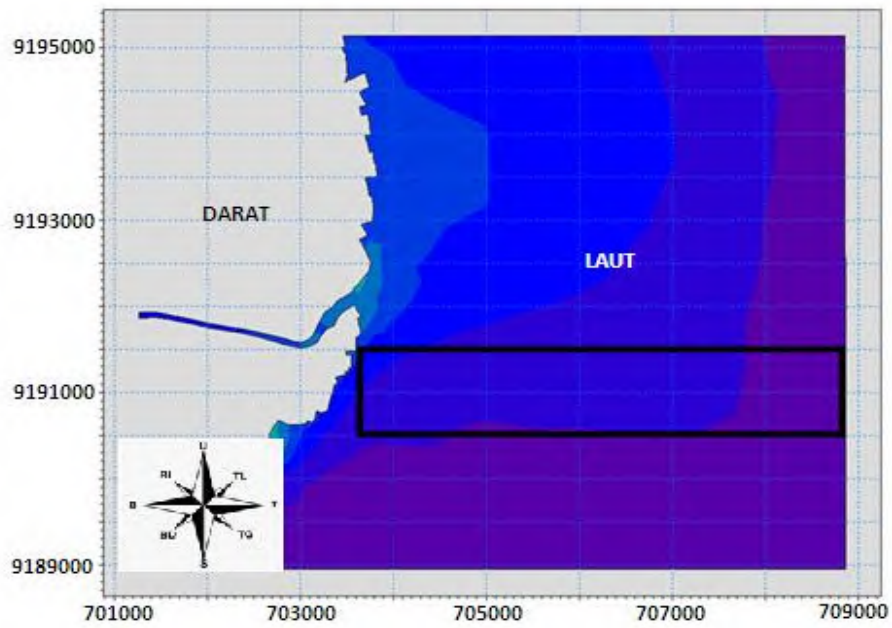
Gambar Luasan Sungai 1 sampai Sungai 4



Gambar Luasan Laut 1



Gambar Luasan Laut II



Gambar Luasan Laut III

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 1 simulasi
lengkap

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 77402.79842 |
| Simpson's Rule: | 77403.14274 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 77403.12274 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 77402.70308 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 77402.70308 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 2 simulasi
lengkap

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 101323.9427 |
| Simpson's Rule: | 101324.1699 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 101324.1638 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 101323.882 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 101323.882 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 3 simulasi lengkap

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 91023.51863 |
| Simpson's Rule: | 91023.80427 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 91023.65417 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 91023.70272 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 91023.70272 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 4 simulasi lengkap

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 191174.5443 |
| Simpson's Rule: | 191173.5221 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 191173.5615 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 191174.2529 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 191174.2529 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 1 simulasi lengkap

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 822221.9837 |
| Simpson's Rule: | 822156.0502 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 822239.624 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 822175.6126 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 822175.6126 |

| | |
|---------|-------------|
| Dominan | Sedimentasi |
|---------|-------------|

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 2 simulasi lengkap

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 705608.0027 |
| Simpson's Rule: | 705468.6515 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 705515.6506 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 705689.4392 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 705689.4392 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 3 simulasi lengkap

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 564990.4243 |
| Simpson's Rule: | 564875.0727 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 564889.1728 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 565037.8767 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 565037.8767 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 1 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 6940.591124 |
| Simpson's Rule: | 6940.588581 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 6940.5872 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 6940.591863 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 6940.591863 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 2 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 8015.89122 |
| Simpson's Rule: | 8015.886175 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 8015.886795 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 8015.892504 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 8015.892504 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 3 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 11422.59272 |
| Simpson's Rule: | 11422.63001 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 11422.63459 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 11422.59498 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 11422.59498 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 4 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 51390.69663 |
| Simpson's Rule: | 51390.67505 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 51390.68043 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 51390.6859 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 51390.6859 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 1 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 421444.8383 |
| Simpson's Rule: | 421440.5288 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 421430.0022 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 421443.2033 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 421443.2033 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 2 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 342876.821 |
| Simpson's Rule: | 342869.2212 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 342877.5709 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 342890.2111 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 342890.2111 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 3 simulasi tanpa debit

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 256563.4582 |
| Simpson's Rule: | 256529.5013 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 256518.6729 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 256578.496 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 256578.496 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 1 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 61842.72753 |
| Simpson's Rule: | 61842.97174 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 61842.94437 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 61842.67194 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 61842.67194 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 2 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 108721.7553 |
| Simpson's Rule: | 108721.4994 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 108721.5313 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 108721.8354 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 108721.8354 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 3 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 258369.9838 |
| Simpson's Rule: | 258371.9934 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 258372.0862 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 258369.3271 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 258369.3271 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 4 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 698330.5703 |
| Simpson's Rule: | 698336.8761 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 698336.3979 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 698332.8743 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 698332.8743 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 1 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 543733.827 |
| Simpson's Rule: | 543670.9926 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 543718.0918 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 543710.6241 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 543710.6241 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 2 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 440347.1552 |
| Simpson's Rule: | 440258.9811 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 440303.1005 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 440395.0933 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 440395.0933 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 3 simulasi tanpa pasut

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 337822.0249 |
| Simpson's Rule: | 337758.9164 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 337738.1586 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 337848.7639 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 337848.7639 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 1 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 79038.42921 |
| Simpson's Rule: | 79038.67133 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 79038.65918 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 79038.36239 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 79038.36239 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 2 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 119824.3646 |
| Simpson's Rule: | 119824.5233 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 119824.5371 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 119824.3202 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 119824.3202 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 3 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 161131.8589 |
| Simpson's Rule: | 161132.7314 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 161132.8122 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 161132.0146 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 161132.0146 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan sungai 4 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 664041.4171 |
| Simpson's Rule: | 664041.8001 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 664041.8706 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 664041.4161 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 664041.4161 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 1 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m ³ |
|-------------------------------|----------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 3755850.412 |
| Simpson's Rule: | 3755970.583 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 3756101.324 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 3755653.802 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 3755653.802 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 2 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 4477587.834 |
| Simpson's Rule: | 4477950.466 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 4477945.79 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 4477811.028 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 4477811.028 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Hasil Perhitungan volume dari grid volume luasan laut 3 simulasi tanpa gelombang

| Volume Report | m³ |
|-------------------------------|----------------------|
| Total Volumes by: | |
| Trapezoidal Rule: | 3277389.466 |
| Simpson's Rule: | 3277208.686 |
| Simpson's 3/8 Rule: | 3277177.662 |
| Cut & Fill Volumes | |
| Positive Volume [Cut]: | 3277512.378 |
| Negative Volume [Fill]: | 0 |
| Net Volume [Cut-Fill]: | 3277512.378 |
| Dominan | Sedimentasi |

Tabel Perubahan bathimetri sungai luasan 1 sampai luasan 4

| Panjang Sungai | Kedalaman Awal | Kedalaman TD | Kedalaman L | Kedalaman TP | Kedalaman TG |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 0 | -5.00 | -4.90 | -4.14 | -4.49 | -4.18 |
| 50 | -5.00 | -4.90 | -4.09 | -4.43 | -4.12 |
| 100 | -5.00 | -4.90 | -4.01 | -4.35 | -4.03 |
| 150 | -5.00 | -4.90 | -3.93 | -4.25 | -3.94 |
| 200 | -5.00 | -4.90 | -3.86 | -4.16 | -3.86 |
| 250 | -5.00 | -4.90 | -3.81 | -4.07 | -3.79 |
| 300 | -5.00 | -4.89 | -3.77 | -3.99 | -3.74 |
| 350 | -5.00 | -4.89 | -3.73 | -3.92 | -3.68 |
| 400 | -4.99 | -4.88 | -3.68 | -3.84 | -3.62 |
| 450 | -4.97 | -4.87 | -3.63 | -3.75 | -3.56 |
| 500 | -4.96 | -4.86 | -3.60 | -3.69 | -3.51 |
| 550 | -4.95 | -4.84 | -3.51 | -3.44 | -3.36 |
| 600 | -4.93 | -4.82 | -3.48 | -3.36 | -3.31 |
| 650 | -4.90 | -4.79 | -3.43 | -3.27 | -3.24 |
| 700 | -4.88 | -4.77 | -3.40 | -3.18 | -3.19 |
| 750 | -4.89 | -4.77 | -3.40 | -3.12 | -3.17 |
| 800 | -4.91 | -4.80 | -3.43 | -3.08 | -3.17 |
| 850 | -4.92 | -4.80 | -3.43 | -3.02 | -3.15 |
| 900 | -4.91 | -4.79 | -3.43 | -2.94 | -3.12 |
| 950 | -4.88 | -4.76 | -3.40 | -2.83 | -3.07 |
| 1000 | -4.85 | -4.72 | -3.37 | -2.69 | -3.01 |
| 1050 | -4.81 | -4.68 | -3.33 | -2.55 | -2.94 |
| 1100 | -4.64 | -4.52 | -3.19 | -2.09 | -2.68 |
| 1150 | -4.56 | -4.44 | -3.13 | -1.90 | -2.58 |
| 1200 | -4.40 | -4.27 | -2.98 | -1.61 | -2.40 |
| 1250 | -4.17 | -4.04 | -2.74 | -1.20 | -2.11 |
| 1300 | -3.94 | -3.81 | -2.52 | -0.67 | -1.81 |
| 1350 | -3.71 | -3.57 | -2.26 | -0.22 | -1.44 |
| 1400 | -3.48 | -3.34 | -1.96 | 0.16 | -0.99 |
| 1450 | -3.28 | -3.13 | -1.72 | 0.40 | -0.60 |
| 1500 | -3.21 | -3.06 | -1.65 | 0.42 | -0.40 |
| 1550 | -3.14 | -2.97 | -1.59 | 0.44 | -0.24 |
| 1600 | -3.03 | -2.87 | -1.54 | 0.49 | -0.11 |
| 1650 | -2.36 | -2.20 | -1.54 | 1.19 | 0.05 |
| 1700 | -2.26 | -2.10 | -1.47 | 1.26 | 0.17 |

| Panjang Sungai | Kedalaman Awal | Kedalaman TD | Kedalaman L | Kedalaman TP | Kedalaman TG |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1750 | -2.15 | -1.99 | -1.40 | 1.30 | 0.32 |
| 1800 | -2.06 | -1.89 | -1.33 | 1.28 | 0.49 |
| 1850 | -2.01 | -1.84 | -1.28 | 1.12 | 0.67 |
| 1900 | -2.02 | -1.84 | -1.31 | 0.90 | 0.74 |
| 1950 | -2.06 | -1.87 | -1.37 | 0.66 | 0.72 |
| 2000 | -2.08 | -1.90 | -1.44 | 0.38 | 0.68 |
| 2050 | -2.11 | -1.93 | -1.50 | 0.02 | 0.63 |
| 2100 | -2.14 | -1.95 | -1.56 | -0.33 | 0.58 |
| 2150 | -2.16 | -1.98 | -1.60 | -0.66 | 0.54 |

Keterangan :

TD : Hasil Simulasi Tanpa Debit

L : Hasil Simulasi Lengkap

TP : Hasil Simulasi Tanpa Pasut

TG : Hasil Simulasi Tanpa Gelombang

Tabel Perubahan bathimetri laut untuk luasan 1

| Jarak | Elevasi Awal | Simulasi L | Simulasi TD | Simulasi TG | Simulasi TP |
|--------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | -3.71 | -3.40 | -3.57 | -2.18 | -3.49 |
| 500 | -3.19 | -2.94 | -3.06 | -1.73 | -3.03 |
| 1000 | -3.01 | -2.77 | -2.89 | -1.86 | -2.85 |
| 1500 | -3.23 | -3.03 | -3.12 | -2.35 | -3.09 |
| 2000 | -3.82 | -3.65 | -3.72 | -3.08 | -3.70 |
| 2500 | -3.96 | -3.81 | -3.87 | -3.26 | -3.85 |
| 3000 | -3.96 | -3.82 | -3.88 | -3.32 | -3.86 |
| 3500 | -3.98 | -3.85 | -3.91 | -3.45 | -3.89 |
| 4000 | -3.99 | -3.88 | -3.94 | -3.60 | -3.93 |
| 4500 | -3.99 | -3.91 | -3.95 | -3.76 | -3.95 |

Tabel Perubahan bathimetri laut untuk luasan 2

| Jarak | Elevasi Awal | Simulasi L | Simulasi TD | Simulasi TG | Simulasi TP |
|--------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | -2.00 | -1.51 | -1.83 | 0.58 | -1.73 |
| 500 | -2.60 | -2.34 | -2.49 | -0.72 | -2.45 |
| 1000 | -3.42 | -3.23 | -3.32 | -2.13 | -3.30 |
| 1500 | -3.75 | -3.60 | -3.67 | -2.65 | -3.65 |
| 2000 | -3.96 | -3.82 | -3.88 | -2.99 | -3.86 |
| 2500 | -3.98 | -3.85 | -3.90 | -3.10 | -3.89 |
| 3000 | -3.96 | -3.85 | -3.89 | -3.22 | -3.88 |
| 3500 | -3.96 | -3.86 | -3.90 | -3.38 | -3.90 |
| 4000 | -3.95 | -3.87 | -3.91 | -3.56 | -3.90 |
| 4500 | -3.95 | -3.89 | -3.93 | -3.73 | -3.92 |

Tabel Perubahan bathimetri untuk luasan 3

| Jarak | Elevasi Awal | Simulasi L | Simulasi TD | Simulasi TG | Simulasi TP |
|--------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | -3.71 | -3.40 | -3.57 | -2.18 | -3.49 |
| 500 | -3.19 | -2.94 | -3.06 | -1.73 | -3.03 |
| 1000 | -3.01 | -2.77 | -2.89 | -1.86 | -2.85 |
| 1500 | -3.23 | -3.03 | -3.12 | -2.35 | -3.09 |
| 2000 | -3.82 | -3.65 | -3.72 | -3.08 | -3.70 |
| 2500 | -3.96 | -3.81 | -3.87 | -3.26 | -3.85 |
| 3000 | -3.96 | -3.82 | -3.88 | -3.32 | -3.86 |
| 3500 | -3.98 | -3.85 | -3.91 | -3.45 | -3.89 |
| 4000 | -3.99 | -3.88 | -3.94 | -3.60 | -3.93 |
| 4500 | -3.99 | -3.91 | -3.95 | -3.76 | -3.95 |

AGUSTUS 2015

| J T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | J T |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,6 | 2,3 | 1,9 | 1,3 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 1 |
| 2 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,1 | 1,6 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2 |
| 3 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,4 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 3 |
| 4 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 4 |
| 5 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 5 |
| 6 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 6 |
| 7 | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 7 |
| 8 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 8 |
| 9 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 9 |
| 10 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 10 |
| 11 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 11 |
| 12 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,4 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 12 |
| 13 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,7 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 13 |
| 14 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 14 |
| 15 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 1,9 | 15 |
| 16 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,5 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 16 |
| 17 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,0 | 1,6 | 1,3 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 17 |
| 18 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 18 |
| 19 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 19 |
| 20 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 20 |
| 21 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 21 |
| 22 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 22 |
| 23 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 23 |
| 24 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 24 |
| 25 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 25 |
| 26 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 26 |
| 27 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 27 |
| 28 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,0 | 1,6 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 28 |
| 29 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 1,9 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 29 |
| 30 | 1,9 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,1 | 1,7 | 1,2 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,4 | 1,8 | 2,1 | 2,2 | 30 |
| 31 | 2,1 | 1,8 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,5 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 2,0 | 2,2 | 31 |



BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PERAK SURABAYA

Jalan Kalimas Baru 97 B
Surabaya - 60165

TGM : KASIMAR SURABAYA
Email : meteomartimby@yahoo.co.id

Telp/Fax : (031) 3291439
Telp/Fax : (031) 3287123

DATA GELOMBANG WILAYAH SURABAYA TIMUR (WONOREJO) TAHUN 2015

| TGL | Januari | Februari | Maret | April | Mei | Juni | Juli | Agustus | September | Oktober | November | Desember |
|-------------------|---------|----------|-------|-------|-----|------|------|---------|-----------|---------|----------|----------|
| 1 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.3 | 0.0 |
| 2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 0.1 |
| 3 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.3 | 0.0 |
| 4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.2 | 0.0 |
| 5 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 0.8 | 0.2 | 0.1 |
| 6 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.7 | 0.2 | 0.0 |
| 7 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.6 | 0.1 | 0.0 |
| 8 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 0.0 |
| 9 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.0 |
| 10 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 0.9 | 0.4 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.1 | 0.0 |
| 12 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.1 | 0.1 |
| 13 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.7 | 0.6 | 1.3 | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.1 | 0.1 |
| 14 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.7 | 0.6 | 1.4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.1 | 0.1 |
| 15 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.8 | 0.5 | 1.2 | 1.0 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.2 |
| 16 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 0.4 | 1.1 | 1.0 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.2 |
| 17 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.8 | 0.4 | 0.9 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.6 |
| 18 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.5 |
| 19 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 20 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 0.4 |
| 21 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.4 |
| 22 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 0.2 |
| 23 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 0.1 |
| 24 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| 25 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.2 |
| 26 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.1 |
| 27 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| 28 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| 29 | 0.2 | | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |
| 30 | 0.3 | | 0.0 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.1 |
| 31 | 0.3 | | 0.1 | | 0.6 | | 0.8 | 0.6 | | 0.4 | | |
| Rata-rata per Bln | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.1 |
| Rata-rata per Thn | 0.4 | | | | | | | | | | | |

Catatan : Satuan dalam meter

Surabaya , 26 Januari 2016
Kasi Observasi & Informasi

Intan Paramajanti
NIP.196106171982032002

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sebaran sedimen di daerah perairan sungai dan muara Kali Wonokromo didominasi oleh lumpur dengan nilai ukuran butir rata-rata 0,055 mm.
2. Faktor dominan yang mempengaruhi perairan muara Kali Wonokromo adalah pasang surut dengan nilai rata-rata tinggi gelombang sebesar 0,4 meter dan nilai elevasi pasang surut sebesar 2,5 meter.
3. Delta sungai Brantas (*Brantas river basin*) terbentuk berabad-abad yang lalu dari letusan gunung berapi dan sedimennya terbawa oleh aliran sungai Brantas (*river delta*) yang bermuara di Mojokerto yang akhirnya membentuk wilayah delta yang luas yaitu Kota Surabaya dan Sidoarjo. Pada bagian pesisir pantai timur kota Surabaya terdapat daerah estuari (*estuarine*), salah satunya adalah daerah estuari Wonorejo, Kali Wonokromo.

5.2 Saran

Penelitian ini perlu dikembangkan lebih lanjut untuk memperoleh hasil yang lebih spesifik. Adapun saran-saran yang perlu untuk pengembangan penelitian ini yaitu:

1. Lokasi pengukuran diperluas dan titik pengukuran diperbanyak sehingga hasil yang diperoleh lebih mendetail dan dapat mewakili daerah penelitian secara komprehensif.
2. Perlu dilakukan penelitian dan pengambilan sampel sedimen pada musim barat (*wet season*) untuk mengetahui pola arus, konsentrasi sedimen layang (*suspended sediment*), sebaran sedimen dan faktor dominan saat musim hujan.
3. Perlu dilakukan simulasi numerik dalam hitungan tahun untuk memprediksi akumulasi sedimen sebab simulasi dalam penelitian ini dilakukan hanya 31 hari (1 bulan).

4. Kurangnya data pembanding untuk penelitian daerah ini sebelumnya, khususnya data hidro-oseanografi pada awal terbentuknya delta Sungai Brantas.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya, 2013.
- Badan Pusat Statistik Surabaya, 2015.
- Boggs, Sam Jr, (2006), *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 4th edition, Pearson Prentice Hall, USA.
- Canestrelli, A, S. Fagherazzi, A. Defina dan S. Lanzoni. (2010), “Tidal Hydrodynamics and Erosional Power in the Fly River Delta, Papua New Guinea”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 15, F04033.
- CERC, (2007), *Coastal Engineering Manual*, Part V-VII. Washington, U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- Choi, Kyungsik. (2014), “Morphology, Sedimentology and Stratigraphy of Korean Tidal Flats-Implications for Future Coastal Managements”, *Ocean and Coastal Management* (2014) 1-12.
- Davis, Richard. A, Jr dan Robert. W Dalrymple, (2012), *Principles of Tidal Sedimentology*, Springer, New York.
- Dean, RG dan Robert. W. Dalrymple, (2004), *Coastal Process with Engineering Applications*, Cambridge University Press.
- DHI, (2007a), Mike 21 Flow Model – Hydrodynamic Module: User Guide, DHI, Denmark.
- DHI, (2007b), *Mike 21 ST – Non-Cohesive Sediment Transport Module: User Guide*, DHI, Denmark.
- DHI, (2013), Mike 21 & Mike 3 Flow Model FM – Mud Transport Module: Short Description, DHI, Denmark.
- DISHIDROS, (2015), *Daftar Pasang Surut Tide Tabel*, 2015, TNI AL Dishidros, Jakarta.
- Gahribreza, Mohammadreza, Alireza Habibi, Sayed Reza Imamjomeh dan Muhammad Aqeel Ashraf. (2014), “Coastal Processes and Sedimentary Facies in the Zohreh River Delta (Northern Persian Gulf)”, *Catena* 122 (2014) 150-158.
- Galloway, William E. (1976), “Sediments and Stratigraphic Framework of The Copper River Fan-Delta, Alaska”, *Journal of Sedimentary Petrology* Vol. 46, No. 3, pp. 726-737.
- Giosan, Liviu, Henry Bokuniewicz, Nicolae Panin dan Iulian Postolaches. (1999), “Longshore Sediment Transport Pattern Along The Romanian Danube Delta Coast”, *Journal of Coastal Research* Vol. 15, No. 4, pp. 859-871.
- Henry, n.s B.A, (1976), *Surabaya – Malang Guide and Map Surabaya East Java – Bali*. P.P Buku Guide & Map, Surabaya Malang East Java-Bali.
- Hoekstra, P. dan Tiktanata. (1988), “Coastal Hydrodynamics, Geomorphology and Sedimentary Environments of two major Javanese River Deltas. Program and Preliminary results from the Snellius-II Expedition (Indonesia)”, *Journal of Southeast Asian Earth Science* Vol 2, No. 2, pp. 95-106.

- Hoekstra, P, R.F Nolting dan H. A. Van Der Slot. (1989), "Supply and Dispersion of Water and Suspended Matter of the Rivers Solo and Brantas into Coastal Waters of East Java, Indonesia", *Netherlands Journal of Sea Research* 23(4) 501-515.
- Holden, Joseph, (2005), *An Introduction to Physical Geography and The Environment*, Pearson Prentice Hall, Inggris.
- Kamphuis, J. William, (2000), *Introduction to Coastal Engineering and Management*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore.
- Mandang, Idris dan Tetsuo Yanagi, (2008), "Tide and Tidal Current in the Mahakam Estuary, East Kalimantan, Indonesia", *Journal of Coastal Marine Science*, Vol. 32, No. 1, pp. 1-8.
- Mikhailova, V.N dan M.V Mikhailova. (2010), "Delta Formation Processes at the Mississippi River Mouth", *Water Resources and The Regime of Water Bodies*, Vol. 37, No. 5, pp. 515–530.
- Nichols, Gary, (2009), *Sedimentology and Stratigraphy*, 2nd edition, John Wiley and Sons Ltd, UK.
- Nugrahadi, M. Saleh dan Tetsuo Yanagi. (2003), "Water Quality in Madura Strait, Indonesia", *Engineering Sciences Reports, Kyushu University*, Vol. 25, No. 1, pp 7-15.
- Ongkosongo, Otto S.R, (2010), *Kuala, Muara Sungai dan Delta*, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Perum Jasa Tirta, (2015), Operasi Harian Bendung untuk Waduk Harian di Wilayah DJA WS Brantas II/2 Pintu Air Jagir.
- Purwono, Nanang, (2010), *Melacak Jejak Tembok Kota Soerabaja*, Balai Arsip dan Perpustakaan Kota Surabaya.
- Santoso, Edy Budi, Sukaryanto dan Muryadi, (2002), "*Kota Surabaya*" sebuah tinjauan dalam perspektif historis, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga.
- Satyana, Awang Harun, (2011), Presumed Mud Volcanic Disasters in Jenggala and Majapahit Periods of 11th – 15th Centuries, East Java: Constraints from Historical Chronicles, Folklore, and Geology Lumpur Sidoarjo - LUSI Expert Gathering and Mud Volcanoes in Indonesia and Their Implications – Symposium (Humanitus Sidoarjo Fund & Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo-BPLS).
- Seybold, Hansjorg Florian. (2009), *Modeling River Delta Formation*, Tesis Ph.D., Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Jerman.
- Triatmojo, B, (1999), *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Von Faber, G.H, (1953), *Er Werd Een Stad Geboren... De wordingsgeschiedenis van het oudste Soerabaja*, N.V. Koninklijke Boekhandel en Drukkerij G. Kolff & C0, Soerabaja.
- Wei, William. W. S, (2006), *Time Series Analysis : Univariate and Multivariate Methods*, Pearson, USA.

BIOGRAFI PENULIS



Zhelvyanie lahir di Jayapura pada tanggal 23 Februari 1984 dan merupakan anak pertama dari pasangan Samuel Payung Allo dan Kristina Eni Sangga. Penulis memasuki jenjang pendidikan dasar di SDN Inpres Perumnas I Waena Jayapura pada tahun 1990 sampai 1996. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SLTP Negeri 6 Jayapura dan lulus pada tahun 1999. Setelah itu, penulis melanjutkan ke SMA Negeri 1 Jayapura dan lulus pada tahun 2002. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Universitas Cenderawasih (UNCEN) di jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan selesai pada tahun 2006. Penulis sempat bekerja dan kemudian penulis diterima sebagai penerima beasiswa PraSaintek 2013 dengan utusan dari Universitas Cenderawasih untuk melanjutkan Studi S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama kuliah di ITS, penulis menyelesaikan Pra Pasca selama 1 tahun di Jurusan Fisika ITS dari tahun 2013-2014, kemudian melanjutkan di Pascasarjana Teknologi Kelautan dari tahun 2014-2016.

Data Pribadi Penulis :

Nama : Zhelvyanie
Alamat : Gg. Yao I No. 4 Perumnas I Waena, Jayapura, Papua
Tlp/HP : 0813-4433-7955
Email : zelvyanie@gmail.com